

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Marius REIZGEVIČIUS

BIM TECHNOLOGIJŲ EFEKTYVUMO DAUGIAPAKOPIS VERTINIMAS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
STATYBOS INŽINERIJA (02T)



LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2016

Disertacija rengta 2011–2016 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Mokslinis vadovas

prof. habil. dr. Leonas USTINOVIČIUS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T).

Vilniaus Gedimino technikos universiteto Statybos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo taryba:

Pirmininkas

prof. habil. dr. Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T).

Nariai:

doc. dr. Jurgita ANTUCHEVIČIENĖ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T),

prof. dr. Marija BURINSKIENĖ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T),

prof. dr. Dalė DZEMYDIENĖ (Mykolo Romerio universitetas, informatikos inžinerija – 07T),

prof. habil. dr. Joanicjusz NAZARKO (Balstogės technologijos universitetas, vadyba – 03S).

Disertacija bus ginama viešame Statybos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje **2016 m. gegužės 6 d. 9 val.** Vilniaus Gedimino technikos universiteto senato posėdžių salėje.

Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.

Tel.: (8 5) 274 4956; faksas (8 5) 270 0112; el. paštas doktor@vgtu.lt

Pranešimai apie numatomą ginti disertaciją išsiųsti 2016 m. balandžio 5 d.

Disertaciją galima peržiūrėti VGTU talpykloje <http://dspace.vgtu.lt> ir Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva).

VGTU leidyklos TECHNIKA 2362-M mokslo literatūros knyga
<http://leidykla.vgtu.lt>

ISBN 978-609-457-910-3

© VGTU leidykla TECHNIKA, 2016

© Marius Reizgevičius, 2016

mariusreizgevicius@gmail.com

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Marius REIZGEVIČIUS

MULTI-STAGE ASSESSMENT OF BIM TECHNOLOGIES EFFICIENCY

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
CIVIL ENGINEERING (02T)



LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2016

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2011–2016.

Supervisor

Prof. Dr Habil. Leonas USTINOVIČIUS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T).

The Dissertation Defence Council of Scientific Field of Civil Engineering of Vilnius Gediminas Technical University:

Chairman

Prof. Dr Habil. Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T).

Members:

Assoc. Prof. Dr Jurgita ANTUCHEVIČIENĖ (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T),

Prof. Dr Marija BURINSKIENĖ (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T),

Prof. Dr Dalė DZEMYDIENĖ (Mykolas Romeris University, Informatics Engineering – 07T),

Prof. Dr Habil. Joanicjusz NAZARKO (Bialystok University of Technology, Management – 03S).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Dissertation Defence Council of Civil Engineering in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at **9 a. m. on 6 May 2016**.

Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.

Tel.: +370 5 274 4956; fax +370 5 270 0112; e-mail: doktor@vgtu.lt

A notification on the intend defending of the dissertation was send on 5 April 2016.

A copy of the doctoral dissertation is available for review at VGTU repository <http://dspace.vgtu.lt> and at the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania).

Reziumė

BIM (Building Information Modelling) – pastato informacinis modeliavimas – tai naujos kartos projektavimo būdas. Projektuojama braižant ne linijomis, o jau elementais, kurie turi savo parametrus. Disertacijoje atliekamas BIM technologijų efektyvumo daugiapakopis vertinimas.

Pagrindinis darbo tikslas – pasiūlyti efektyvų BIM technologijų efektyvumo vertinimo daugiapakopį modelį.

Autorius BIM efektyvumą įvertina atlikdamas BIM reikšmės statybos sektoriuje analizę, keturių dimensijų projektavimo modelio efektyvumo vertinimą ir pagrindimą taikant daugiakriterinę analizę, BIM technologijų diegimo poreikio projektavimo įmonėse vertinimą bei siūlo BIM projektavimo atsiperkamumo skaičiavimo modelį.

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai, bendrosios išvados, naudotos literatūros sąrašas, autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas ir du priedai.

Įvadiniame skyriuje aptariama tiriamoji problema, darbo aktualumas, aprašomas tyrimų objektas, formuluojamas darbo tikslas ir uždaviniai, aprašomas mokslinis darbo naujumas, ginamieji teiginiai. Įvado pabaigoje pristatomi autoriaus pranešimai konferencijose ir publikacijos, pateikiama disertacijos struktūra.

Pirmajame skyriuje aptariama BIM reikšmė statybos sektoriuje, nustatoma BIM technologijų įtaka darbo efektyvumui, vertinamas keturių dimensijų modelio efektyvumo teorinis aspektas, pateikiamas BIM technologijų projektavimo įmonėje daugiapakopio vertinimo teorinis pagrindas. Skyriaus pabaigoje formuluojamos išvados ir tikslinami disertacijos uždaviniai.

Antrajame skyriuje pateikiamas 4 dimensijų projektavimo modelio efektyvumo vertinimas ir pagrindimas taikant daugiakriterinę analizę. Atliktas 4D efektyvumo vertinimo eksperimentas. Taip pat pateikiami BIM panaudojimo statybos inžinerijos studijose atlikto tyrimo vertinimo rezultatai.

Trečiajame skyriuje pristatomas BIM technologijų diegimo projektavimo paslaugų įmonėje atsiperkamumo vertinimas. Sukurtas atsiperkamumo skaičiavimo metodas „ROI MR“, leidžiantis projektavimo įmonėms įvertinti pastato informacinio modeliavimo programos investicijų atsipirkimą pirmiesiems metams.

Disertacijos tema paskelbti 8 moksliniai straipsniai, iš kurių 1 referuojamas Thomson Reuters Web of Knowledge (*ISI Web of Science*) cituojamuose žurnaluose, 2 straipsniai referuojami konferencijos *ISI Proceedings* medžiagoje, 4 straipsniai – kituose recenzuojamuose užsienio ir Lietuvos mokslo leidiniuose, 1 straipsnis – recenzuojamoje Lietuvos konferencijos medžiagoje.

Abstract

The dissertation investigates BIM (Building Information Modelling) technology efficiency.

The main aim of the thesis – to suggest effective multistage model for assessment of BIM technologies. Author of the thesis evaluates BIM technology efficiency by analyzing the construction sector. Also, the evaluation and justification of the effectiveness of 4D CAD using multi-criteria analysis is made. The need of BIM technologies for design company is evaluated and return on investment of BIM technology program is suggested.

The thesis comprises an introduction, three chapters, general conclusions, list of references, list of publications by the author on the subject of the dissertation and two annexes.

The introductory part presents the researched problem, relevance of the thesis, the research object, formulated aim and objectives, scientific novelty of the thesis and defended statements. Closing remarks of the introduction introduce presentations given by the author at conferences as well as publications, and the structure of the dissertation.

The first chapter discusses the value of BIM in the construction sector. BIM technologies influence for job efficiency and 4D model theoretical aspects are evaluated. Theoretical multilevel assessment of BIM technologies for design company is presented. The chapter closes with conclusions and revised objectives of the thesis.

The second chapter provides the evaluation and justification of the effectiveness of 4D CAD using multi-criteria analysis. The experiment of 4D performance evaluation is made, 2D and 4D models are compared using statistical analysis, the effectiveness of these models is evaluated by using multi-attribute decision analysis methods. Research of BIM use in building engineering studies is discussed.

The third chapter presents the return on investment evaluation of BIM technologies for the design company. There is established calculation method “*ROI MR*”, which evaluates return on investment of BIM program for the first year. “*Autodesk Revit*” ROI and the author's proposed “*ROI MR*” calculation methods are compared.

Eight scientific articles were published on the topic of the dissertation, one of which – in peer-reviewed journal of Thomson Reuters Web of Knowledge (ISI Web of Science), two – in ISI Proceedings; four – in other foreign and Lithuanian peer-reviewed publications, one – in proceedings of Lithuanian scientific conference.

Žymėjimai

Simboliai

a_{ij} – alternatyva;

B – bendras duotas modelio kaladėlių skaičius;

\bar{y} – modelio 4D rodiklių reikšmių imties empirinis vidurkis;

I – modelio išbaigtumas;

K – klaidingai panaudotų kaladėlių skaičius;

l_1 – pastato aukštis, m (2.14 paveikslas);

l_2 – pastato aukštis, m (2.15 paveikslas);

l_3 – pastato aukštų skaičius, vnt. (2.16 paveikslas);

l_4 – pastato aukštų skaičius, vnt. (2.17 paveikslas);

l_5 – pastato plotas, tūkst. kv. m. (2.18 paveikslas);

l_6 – pastato plotas, tūkst. kv. m. (2.19 paveikslas);

l_7 – atsiperkamumas ROI, % (3.13 paveikslas);

m_{1-6} – statybos trukmė, metai (2.14–2.19 paveikslai);

m_7 – darbo užmokestis bruto, eurai/mėn (3.13 paveikslas);

N – panaudotų kaladėlių skaičius;

n – rodiklių skaičius;

π_{ij} – alternatyvų deriniai;

q_j – rodiklio reikšmingumas;

s_y – modelio 4D rodiklių reikšmių imties empirinis standartinis nuokrypis;

s_x – modelio 2D rodiklių reikšmių imties empirinis standartinis nuokrypis;

T – modelio tikslumas (pocentinė išraiška);

x_{ij} – rodiklio reikšmė;

\bar{x} – modelio 2D rodiklių reikšmių imties empirinis vidurkis.

Santrumpos

AECO – architektūra, inžinerija, statyba, statytojo priežiūra (angl. *Architecture, Engineering, Construction and Owner-operated*);

BIM – pastato informacinis modeliavimas (angl. *Building Information Modelling*);

CAD – kompiuterinis projektavimas (angl. *Computer aided design*);

COPRAS – daugiatis kompleksinio proporcingo įvertinimo metodas (angl. *Method of Multiple Criteria Complex Proportional Assessment*);

LSD – Lietuvos statistikos departamentas;

PVM – pridėtinės vertės mokestis;

ROI – investicijų atsiperkamumas (angl. *Return on Investment*);

SAW – paprastasis adityvus svorių metodas (angl. *Simple Additive Weighting*);

TOPSIS – artumo idealiajam taškui metodas (ang. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*);

UAB – uždaroji akcinė bendrovė.

Turinys

IVADAS.....	1
Problemos formulavimas	1
Darbo aktualumas	2
Tyrimų objektas	3
Darbo tikslas	3
Darbo uždaviniai	3
Tyrimų metodika.....	4
Darbo mokslinis naujumas.....	4
Darbo rezultatų praktinė reikšmė	4
Ginamieji teiginiai.....	5
Darbo rezultatų aprobavimas	5
Disertacijos struktūra	6
1. BIM REIKŠMĖ STATYBOS SEKTORIUJE	7
1.1. BIM technologijų įtaka darbo efektyvumui	8
1.1.1. Projektavimo samprata	9
1.1.2. BIM naudojimo privalumai ir trūkumai.....	11
1.1.3. Technologijų įtaka darbo efektyvumui.....	13
1.2. BIM technologijų diegimo principai	15
1.3. BIM technologijų diegimo etapai projektavimo įmonėje.....	26
1.4. Keturių dimensijų modelio efektyvumo vertinimo teorinis aspektas	36
1.4.1. Keturių dimensijų modelio samprata.....	38
1.4.2. 4D efektyvumo teorinis aspektas.....	42
1.5. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas	43
2. BIM TECHNOLOGIJŲ EFEKTYVUMO VERTINIMAS TAIKANT DAUGIAPAKOPIUS SPRENDIMŲ PRIĖMIMO METODUS	45
2.1. BIM technologijų projektavimo įmonėje daugiapakopio vertinimo samprata	46

2.1.1. 4D efektyvumo vertinimo eksperimentas	53
2.1.2. Keturių dimensijų modelio efektyvumas	60
2.1.3. Keturių dimensijų modelio efektyvumo vertinimas	63
2.1.4. 2D ir 4D modelių palyginimas atliekant statistinę analizę	69
2.1.5. Modelių 2D ir 4D efektyvumo vertinimas, taikant daugiatisliu sprendimo priėmimo metodus	71
2.2. BIM panaudojimas statybos inžinerijos studijose	72
2.2.1. BIM projektavimo modulių įtraukimas į studijų programas	74
2.2.2. Pastato informacinio modeliavimo panaudojimo statybos inžinerijos studijose vertinimo tyrimas	77
2.3. BIM technologijų įtakos darbo efektyvumui tyrimas	83
2.4. Antrojo skyriaus išvados	88
3. BIM TECHNOLOGIJŲ DIEGIMO PROJEKTAVIMO PASLAUGŲ ĮMONĖJE VERTINIMAS	91
3.1. BIM technologijų diegimo projektavimo įmonėje poreikio nustatymas	92
3.1.1. Technologijų diegimo poreikis projektavimo įmonėse	92
3.1.2. Projektavimo iššūkiai, barjerai, problemos ir sprendimo būdai	95
3.1.3. BIM diegimą įtakančių veiksnių nustatymas	100
3.2. Projektavimo paslaugų efektyvumo didinimas įvedant BIM	104
3.3. BIM technologijų diegimo projektavimo įmonėje atsiperkamumas	105
3.3.1. Technologijų nauda projektavimo įmonėse	105
3.3.2. Atsiperkamumo tyrimai	108
3.3.3. BIM programų atsiperkamumo įvertinimas	112
3.4. Trečiojo skyriaus išvados	128
BENDROSIOS IŠVADOS	131
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI	133
AUTORIAUS MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS ..	143
SUMMARY IN ENGLISH	145
PRIEDAI*	161
A priedas. Bendraautorių sutikimai teikti publikacijoje skelbtą medžiagą mokslo daktaro disertacijoje	163
B priedas. Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema kopijos	171

* Priedai pateikiami pridėtoje kompaktinėje plokštelėje

Contents

INTRODUCTION	1
Formulation of the problem	1
Relevance of the thesis	2
The object of the research	3
The aim of the thesis	3
The objectives of the thesis	3
The research methodology	4
Scientific novelty of the thesis	4
Practical value of the research findings.....	4
Defended statements	5
The approval of the research findings	5
The structure of the dissertation	6
1. BIM VALUE FOR THE CONSTRUCTION SECTOR.....	7
1.1. BIM technologies influence for job efficiency.....	8
1.1.1. The conception of BIM design	9
1.1.2. Advantages and disadvantages of BIM use	11
1.1.3. BIM influence for job efficiency	13
1.2. The principles of BIM technologies implementation	15
1.3. The phases of BIM technologies implementation to design company	26
1.4. The evaluation of 4D model performance in theoretical aspect.....	36
1.4.1. The conception of 4D model	38
1.4.2. The evaluation of 4D model efficiency in theoretical aspect.....	42

1.5. Conclusions of Chapter One and formulation of thesis objectives	43
2. THE ASSESSMENT OF BIM TECHNOLOGIES EFFICIENCY USING COMPLEX MULTISTAGE DECISION MAKING MODEL.....	45
2.1. The meaning of multistage assesment of BIM tecnologies for design company	46
2.1.1. Experiment of 4D CAD performance evaluation	53
2.1.2. Efficiency of 4D CAD model	60
2.1.3. Efficiency Evaluation of 4D CAD model	63
2.1.4. Comparison of 2D and 4D models by making statical analysis.....	69
2.1.5. Efficiency Evaluation of 2D and 4D CAD model using multistage decision making model	71
2.2. The use of BIM in construction engineering studies	72
2.2.1. BIM modules incorporation to the study program	74
2.2.2. Evaluation of BIM use in construction design studies	77
2.3. Research of BIM technologies influence for job efficiency	83
2.4. Conclusions of Chapter Two	88
3. THE ASSESSMENT OF BIM TECHNOLOGIES IMPLEMENTATION TO THE DESIGN COMPANY	91
3.1. The need of BIM technologies implementation to the design company.....	92
3.1.1. BIM technologies need to the design companies	92
3.1.2. Challenges, barriers, problems and solutions of Building information modelling	95
3.1.3. Identification of factors, which affect BIM implementation.....	100
3.2. The increased effectiveness of the design services using BIM.....	104
3.3. Return on investment of BIM technologies implementation to design company	106
3.3.1. The benefits of BIM technologies for design companies	106
3.3.2. Studies of BIM design return on investment	108
3.3.3. Evaluation of BIM programs payback	113
3.4. Conclusions of Chapter Three	128
GENERAL CONCLUSIONS	131
REFERENCES.....	133
LIST OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS OF THE AUTHOR ON THE TOPIC OF THE THESIS.....	143
SUMMARY IN ENGLISH	145
ANNEXES**	161
Annex A. Agreements of co-authors to provide published materials in the thesis	163
Annex B. Copies of scientific publications of the author on the topic of the thesis	171

** The annexes are supplied in the enclosed compact disk

Įvadas

Problemos formulavimas

Pastato informacinio modelio (BIM – *Building Information Modelling*) taikymas neabejotinai viena pažangiausių naudojamų technologijų statybos sektoriuje, kurios teikiama nauda yra įrodyta moksliniais tyrimais. Nepaisant BIM taikymo efektyvumą pagrindžiančių tyrimų, vis dar lieka neaišku, kokie BIM taikymo privalumai ir nauda atskiriems statybos sektoriaus dalyviams. Atlikus tiek mokslinių tyrimų, tiek praktinio BIM taikymo skirtingose pasaulio šalyse analizę, galima teigti, kad vis dar nėra ne tik aiškių BIM teikiamo efektyvumo vertinimo kriterijų, bet ir vieningos vertinimo metodikos. Daugeliu atveju BIM efektyvumui vertinti analizuojama klaidų ir statybos trukmės dinamikos statistika. Mokslinių tyrimų rezultatų variacija gana plati ir vis dar nėra įvertinta, kaip skiriasi BIM taikymo efektyvumas atsižvelgiant į pastato paskirtį, dydį, sudėtingumą ir kitus rodiklius.

Disertacijos mokslinė problema formuluojama klausimu, kaip turėtų būti vertinamas BIM technologijų efektyvumas, ar gali būti vertinamas efektyvumas vienodai visiems BIM proceso dalyviams, kas turi įtakos BIM technologijų diegimui projektavimo įmonei, ir kaip paskaičiuoti BIM technologijų atsiperkamumą.

Todėl šiai problemai spręsti disertacijoje siūlomas daugiapakopis modelis, sudarytas iš rodiklių rinkinių. Modelis pritaikytas BIM technologijų plėtrai statybos rinkoje, taip pat gali būti praktiškai taikomas įmonės plėtros planavimo etape.

Disertacijos problemos sprendimas ir praktinis gautų rezultatų pritaikumas turėtų teigiamos įtakos Lietuvos statybų sektoriaus technologiniam vystymuisi, įgyvendinant BIM diegimą Lietuvoje. Siūlomo daugiapakopio BIM efektyvumo vertinimo modelio universalumas kintant aplinkos sąlygoms ir modeliavimo prielaidoms gali būti koreguojamas ir taikomas kintančių aplinkos sąlygų vertinimui.

Darbo aktualumas

Statybos sektorius yra vienas iš reikšmingiausių sektorių, įtakančių šalių ekonomikos augimą. Šio sektoriaus įtaka reikšminga dėl aukštos sukuriamos pridėtinės vertės ir darbo vietų skaičiaus. Tai sektorius generuojantis didžiąją dalį materialinių investicijų bei sudarantis apie pusę energijos išteklių paklausos. Statybų sektoriaus reikšmingumą pagrindžia ir statybos paslaugų pirkimų dominavimas viešųjų pirkimų apimtyse. Šis sektorius reikšmingas ne tik dėl jo individualiai sukuriamos pridėtinės vertės, bet ir statybos sektoriaus darbo vietų sąryšio ir įtakos kitų sektorių, tokių kaip transporto, energetikos, tekstilės, informacinių ir ryšio technologijų, užimtumui.

Atsižvelgiant į sąlyginai žemą dalies ES šalių tiek ekonominio išsivystymo lygį, tiek sąlyginai žemą statybų sektoriaus našumą, augančias išlaidas materialiesiems ištekliams ir didėjančią žmogiškojo kapitalo deficitą, tikslinga ieškoti būdų statybų sektoriaus efektyvumui didinti.

Pasaulyje sparčiai vystantis statybų ir informacinėms komunikacinėms technologijoms vienu iš statybos sektoriaus pažangos veiksnių galima įvardinti BIM taikymą, kuris aktyviai skatinamas tiek atskirų šalių (Danijos, JAV, Australijos ir kt.), tiek bendrai ES įgyvendinamos politikos atžvilgiu. Šalyse, kuriose statybų sektoriaus plėtra nėra pakankamai sparti, bei pasižyminčiose žemesniu produktyvumu yra tikslinga reaguoti į statybos informacinių ir komunikacinių technologijų pokyčius bei formuoti ir taikyti BIM. Vieninga BIM taikymo sistema įvairiose šalyse dar nėra sukurta ir taikoma. Sunku įvertinti teikiamą efektyvumą skirtingų statybos sektoriaus dalyvių atžvilgiu. BIM taikymo atveju BIM diegimo investicijos ir teikiamas efektyvumas pasireiškia skirtinguose pastato gyvavimo ciklo etapuose. Taip pat BIM teikiamas efektyvumas turėtų skirtis, atsižvelgiant į pastato paskirtį, sudėtingumą ir kitus parametrus. Aiškumas ir detalumas dėl BIM taikymo efektyvumo skirtingiems statybos sektoriaus dalyviams turėtų reikšmingos įtakos vieningos BIM sistemos

diegimui atskirų šalių atveju, arba taptų svariu argumentu šios sistemos nediegti, ieškant kitų efektyvumo didinimo alternatyvų.

Tyrimų objektas

BIM technologijų efektyvumą lemiančių veiksnių daugiapakopis vertinimas bei jų reikšmingumo statybos proceso dalyvių veikloje analizė.

Darbo tikslas

Sukurti BIM technologijų vertinimo daugiapakopį modelį ir jo praktinio taikymo algoritmą, sudaryti ir patikrinti BIM programų atsiperkamumo (ROI – *Return on Investment*) skaičiavimo modelį.

Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti keliama uždaviniai:

1. Išnagrinėti literatūroje paskelbtus BIM technologijų privalumus, trūkumus ir įtaką darbo efektyvumui.
2. Atlikti 4D ir 2D projektavimo eksperimentinius lyginamuosius tyrimus nustatant efektyvumą.
3. Atlikti BIM panaudojimo statybos inžinerijos studijose vertinimo tyrimą ir nustatyti pasirengimo lygį.
4. Atlikti statybos produktyvumo tyrimą, vertinant 100 aukščiausių dangoraizžių ir nustatyti kintamųjų įtaką regresinės analizės metodu.
5. Sukurti BIM diegimo technologijų vertinimo daugiapakopį modelį.
6. Sukurti BIM technologijų investicijų atsiperkamumo (ROI) skaičiavimo metodą, pritaikytą projektavimo įmonėms. Sukurtajame „ROI MR“ metode pritaikyti esamus ir pasiūlyti naujus atsiperkamumo nustatymo rodiklius.
7. Patikrinti sukurtojo „ROI MR“ atsiperkamumo skaičiavimo metodiką nustatant BIM technologijų diegimo projektavimo įmonėje atsiperkamumą. Skaičiavimo rezultatus palyginti su literatūroje skelbtais tyrimų rezultatais.

Tyrimų metodika

Darbo rengimo metu remtasi užsienio ir Lietuvos mokslininkų publikacijomis, tyrimais, statybos įmonių duomenimis, įstatymais, reglamentuojančiais statybą ir projektavimą, statybos techniniais reglamentais, statybos įstatymu, BIM standartais. Atliktas eksperimentinis vertinimas, anketinės apklausos, regresinė analizė, duomenų sisteminimas, grafinis duomenų vaizdavimas. Panaudojamas sprendimų priėmimo metodas, daugiakriterinė analizė vertinant 4D efektyvumą. Naudoti įvairių statybos pramonės institucijų informaciniai leidiniai, ataskaitos, Lietuvos ir užsienio įstaigų statistiniai duomenys. Nagrinėta BIM programų gamintojų techninė informacija, įvairios ataskaitos, atsiperkamumo skaičiavimo metodika.

Darbo mokslinis naujumas

Rengiant disertaciją buvo gauti šie statybos inžinerijos mokslui nauji rezultatai:

1. Sukurtas BIM diegimo atsiperkamumo skaičiavimo metodas, leidžiantis praktiškai patikrinti projektavimo įmonių investicijų į BIM programavimą atsiperkamumą bet kokio dydžio projektavimo įmonei Lietuvoje ar užsienyje.
2. Sukurta 4D ir 2D efektyvumo nustatymo eksperimento metodika, leidžianti įvertinti darbo spartą, klaidų prevenciją, brėžinių suvokimą, klaidų, atsirandančių statybos metu, taisymą.
3. Sukurtas BIM diegimo technologijų vertinimo daugiapakopis modelis. Nustatytas kiekvieno dalyvio vaidmuo ir jų lygis diegiant BIM technologijas projektavimo įmonėje.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Tyrimo rezultatai gali būti naudingi įmonėms priimant mikrolygmens sprendimus, susijusius su BIM technologijų diegimu ir taikymu įmonės veiklose. Disertacijos tyrimo rezultatų taikymas makrolygmeniu gali būti naudingas vieningos BIM sistemos formavimui ir diegimui, statybų sektorių skaitmenizavimui atskirų šalių mastu. Atlikto tyrimo rezultatai gali turėti reikšmingos įtakos priimant tiek mikrolygmens, tiek makrolygmens sprendimus, susijusius su inovacijų diegimu statybų sektoriuje, kurios tiesiogiai ir

netiesiogiai įtakos tiek kitus ekonomikos sektorius, tiek technologijos, socialinių, humanitarinių mokslo sričių raidą.

Ginamieji teiginiai

1. Pasiūlytojo BIM diegimo technologijų vertinimo daugiapakopio modelio koncepcija leidžia įvertinti kiekvieno dalyvio vaidmenį ir jo lygį diegiant BIM technologijas projektavimo įmonėje.
2. Pastato informacinio modelio integravimas į projektavimo įmones sukuria sektoriuje naujus iššūkius, barjerus. BIM integravimas įmonėms gali atnešti ne tik pelną, tačiau ir naujas problemas. BIM technologijų diegimas mažoms projektavimo įmonėms Lietuvoje yra brangus ir sudėtingas procesas, o investicijų atsipirkimo tenka laukti ilgą laiką.
3. Pasiūlytas BIM programų atsiperkamumo skaičiavimo metodas „*ROI MR*“ leidžia praktiškai patikrinti projektavimo įmonių investicijų į BIM programavimą atsiperkamumą bet kokio dydžio projektavimo įmonei Lietuvoje ar užsienyje.

Darbo rezultatų apibavimas

Disertacijos tema paskelbti 8 moksliniai straipsniai, iš kurių vienas įtrauktas į *Thomson Reuters Web of Knowledge (ISI Web of Science)* sąrašą (Reizgevičius *et al.* 2014); du – konferencijos medžiagoje *ISI Proceedings* (Reizgevičius *et al.* 2013; Ustinovičius *et al.* 2015); keturi – kituose recenzuojamuose užsienio ir Lietuvos mokslo leidiniuose (Reizgevičius *et al.* 2015; Reizgevičius *et al.* 2013; Reizgevičiūtė *et al.* 2013; Reizgevičius *et al.* 2012), vienas straipsnis – recenzuojamoje Lietuvos konferencijos medžiagoje (Reizgevičiūtė *et al.* 2014).

Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai buvo paskelbti septyniose mokslinėse konferencijose (keturiuose tarptautinėse, trijose Lietuvos jaunųjų mokslininkų):

- VGTU 11-ojoje Tarptautinėje konferencijoje „Modern Building Materials, Structures and Techniques“ 2013 m. Vilniuje;
- 15-tas Vokietijos-Lietuvos-Lenkijos koliokviumas „Innovative solutions in Construction Engineering and Management“ 2015 m., Poznanė, Lenkija;
- 7-ojoje Tarptautinėje mokslinėje konferencijoje „Jaunųjų mokslininkų darbai“ 2012 m. Šiauliuose;

- 8-ojoje Tarptautinėje mokslinėje konferencijoje „Jaunųjų mokslininkų darbai“ 2013 m. Šiauliuose;
- Studentų mokslinėje konferencijoje „Statyba ir architektūra“ 2014 m. Kaune;
- 9-ojoje mokslinėje konferencijoje „Jaunųjų mokslininkų darbai“ 2014 m. Šiauliuose;
- 10-ojoje mokslinėje konferencijoje „Jaunųjų mokslininkų darbai“ 2015 m. Šiauliuose.

2012 m. atliktas 4D projektavimo efektyvumo vertinimo eksperimentas. Eksperimento metu imituotas statybos procesas pateikiant projekto informaciją 2D ir 4D formatuose. 2012 m. dalyvauta stažuotėje pagal Erasmus programą Danijoje, VIA Universitetiniame Koledže. Stažuotės metu skaitytos paskaitos disertacijos tema: „BIM, 4D CAD and 5D CAD“. 2015 m. dalyvauta stažuotėje Lenkijoje, Balstogės technologijos universitete.

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai, bendrosios išvados, literatūros ir šaltinių bei autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašai, santrauka anglų kalba ir priedai.

Disertacijos apimtis su santrauka anglų kalba – 160 puslapių (neįskaitant priedų), tekste panaudotos 24 sunumeruotos formulės, 40 paveikslų ir 25 lentelės. Rašant disertaciją buvo panaudoti 118 literatūros šaltinių.

BIM reikšmė statybos sektoriuje

Skyriuje aptariama BIM technologijų reikšmė statybos sektoriuje. Analizuojama užsienio autorių literatūra, tyrimai. BIM (Building Information Modeling) projektavimas dažnai analizuojama sritis statybos inžinerijos ir vadybos moksliniuose leidiniuose. Projektuojama braižant ne linijomis, o jau elementais, kurie turi savo parametrus. Pastato informacinį modeliavimą sudaro ne tik geometrija. BIM susieja įvairius pastato statybos proceso vykdymui, statiniui turinčius įtakos veiksnius: apšvietimą, geografinę padėtį, statybos medžiagas, jų kiekius, kt. BIM dėka statybos projektą galima sukurti virtualioje erdvėje. Tai padeda išvengti klaidų, konstrukcijų neatitikimų. Pirmame skyriuje aptariami pastato informacinio modeliavimo privalumai ir trūkumai. Įvertinus visus kriterijus, aptariama įtaka darbo efektyvumui, kaip privalumai gali pagreitinėti darbą. Šiandieninė statybos pramonė ypač reiklė, specialistas privalo išmanyti visas statybos sritis, gebėti dirbti su sudėtingomis daugiafunkcinėmis kompiuterinėmis programomis. BIM disciplinų išmanymas smarkiai pagerintų studijų kokybę aukštosiose mokyklose. Studijos būtų visapusiškos, susietos atskiros disciplinos sukurtų realų statybos pramonės vaizdą. BIM projektavimo išmanymas leistų greičiau įsilieti į ypač reiklį šiandieninę darbo rinką. Įvertinus BIM reikšmę statybos sektoriuje suformuluojami disertacijos uždaviniai.

Skyriaus tematika paskelbta viena publikacija: Reizgevičius *et al.* 2012.

1.1. BIM technologijų įtaka darbo efektyvumui

Azhar *et al.* (2010) nuomone, pastato informacinis modeliavimas yra išsamus, informatyvus, jis gali būti pritaikomas skirtingų sričių atstovų. Pagrindinis skirtumas tarp BIM ir 2D, autorių teigimu, yra tas, jog 2D – tai planai, pjūviai, fasadai, braižomi atskirai. Šių vaizdų redagavimas reikalauja, kad visi kiti brėžiniai būtų patikrinti ir atnaujinti, nes atsiranda klaidų tikimybė. Be to, duomenys 2D brėžiniuose yra grafiniai subjektai: linijos, arkos, apskritimai. Tuo tarpu BIM modelyje grafiniai subjektai apibūdinami kaip erdvės, sienos, sijos, kolonos, kaupiamos tiek fizinės, tiek funkcinės charakteristikos, gyvavimo ciklo informacija. Pavyzdžiui, modelyje pakeitus vieno lango parametrus, jis automatiškai pasikeičia visuose planuose, pjūviuose, fasaduose, specifikacijose Smith (2007) nuomone, BIM palengvina rangovų ir subrangovų darbą. Statybų metu laikomasi modelio informacijos nuo jos nenukrypstant. Modelyje sukaupta informacija apie statybos produktus, sertifikatus, atitikties deklaracijas, serijos numerius, garantinį laikotarpį, medžiagų sandėliavimą, atgabenimą į statybos aikštelę. Be to, modelis suteikia informaciją apie pastato, jo atskirų dalių priežiūrą, pastatą eksploatuojant. Autoriaus teigimu, statybų aikštelės naudojant BIM yra saugesnės, medžiagos nekaupiamos aikštelėje, o atvežamos konkrečiai numatytu laiku, sumažinamas atliekų kiekis iki minimumo, nes užduotys optimizuojamos.

Siekiant padidinti statybos procesų patikimumą, statybos darbų vykdymą laiku aikštelėje būtina įvykdyti tam tikras sąlygas. Statybos procesų patikimumas, darbų atlikimas priklauso būtent nuo šių sąlygų (Koskela 1999, sąlygos papildytos Lindhard *et al.* 2012). Jei bent viena sąlyga neišpildyta, veikla negali būti vykdoma. Todėl labai svarbu nepraleisti nei vieno iš apribojimų. Sąlygos yra tokios:

1. Turimas statybos projektas; teisingi planai, brėžiniai ir specifikacijos.
2. Statybinės medžiagos yra statybos aikštelėje.
3. Darbuotojai pasiruošę darbui statybvietėje.
4. Aikštelė aprūpinta statybine įranga, technika.
5. Pakanka vietos užduoties atlikimui.
6. Darbai turi būti apjungiami (prieš pradėdant naujesnius darbus, ankstesni turi būti įvykdyti).
7. Palankios išorinės sąlygos. Šis punktas apima:
 - 7.1. Klimatinės sąlygos turi būti priimtinos (lietus, sniegas, vėjas, karštis ar šaltis).
 - 7.2. Suteikiamos saugios darbo sąlygos (užtikrinta darbuotojų sveikata ir saugus darbas).
 - 7.3. Aplinkos sąlygos turi būti žinomos (renovacijos projektams, gruntai ir pan.).

Matthews *et al.* (2015) teigimu, daugybė užsienyje atliktų tyrimų parodė, kad mobiliųjų technologijų diegimas (planšetinių asmeninių kompiuterių, išmaniųjų telefonų ir asmeninių skaitmeninių asistentų (PDA – dažniausiai kišeniniai ar delniniai kompiuteriai) gali pagerinti gebėjimą fiksuoti pokyčius statybos aikštelėje realiu laiku. Pasak autorių, tai įrodo įvairių programų išmaniesiems telefonams atsiradimas. Pavyzdžiui, programa „Construction Progress Control“ (CPC) sukurta stebėti projekto statybas. Į ją importuojamas statybos darbų grafikas iš „Microsoft Excel“ skaičiuoklės. Tuomet statybos aikštelėje dirbantis personalas gali atnaujinti projekto grafikus, įkelti duomenis apie esamų statybos darbų būklę procentais.

Tserng *et al.* (2014) taip pat sukūrė sistemą „Construction BIMassisted Schedule Management“ (ConBIM-SM), kuri pagerina statybos darbų grafikų pildymą realiu laiku naudojantis planšetiniu kompiuteriu. Vykdomas procesas yra automatizuojamas, technologija yra įdiegta statybos projektams efektyvumo patobulinimui. Daugelis tyrimų panašių į Tserng *et al.* (2014) parodė, kad BIM gali būti efektyviai naudojamas statybos aikštelėje vykstančių darbų ataskaitų parengimui ir darbų stebėsenai.

Manoma, kad BIM technologijos daugiausia taikomos sudėtingiems pastatams (dėl aukščio, konstrukcijų, technologijų, kt.). Lietuvoje daug neužstatytos teritorijos, todėl pastatų aukštinimas nėra labai aktualus, išskyrus didžiuosiuose miestuose. Be to, Lietuvoje vyrauja specializuotos projektavimo įmonės, atliekančios tam tikrą specifinę projekto dalį (architektūrinę, konstrukcinę, šildymo, vėdinimo, kondicionavimo). Anksčiau veikę dideli projektavimo institutai reorganizuoti, todėl nebėra visų projektų dalių specialistų vienoje vietoje.

1.1.1. Projektavimo samprata

BIM (Building Information Modeling) projektavimas – labai dažnai analizuojama sritis statybos inžinerijos ir vadybos moksliniuose leidiniuose. BIM pirmtakas pasaulyje atsirado 1970 metais. 1987 metais kompanija „Graphisoft's ArchiCAD“ pirmą kartą pradėjo vykdyti virtualią statybą. Lietuvoje BIM samprata atsirado 2002 metais. BIM išvertus į lietuvių kalbą – tai pastato informacinis modeliavimas. BIM – tai naujos kartos projektavimo būdas. Projektuojama braižant ne linijomis, o jau elementais, kurie turi savo parametrus.

Pastato informacinis modeliavimas išplečia įprastą 2D sąvoką. Jis apima 3D brėžinius, laiką (4D), sąnaudas (5D). Taigi, pastato informacinį modeliavimą sudaro ne tik geometrija. BIM susieja įvairius pastato statybos procesus vykdymui, statiniui turinčius įtakos veiksnius: laiką, sąnaudas, apšvietimą, geografinę padėtį, statybos medžiagas, jų kiekius, kt. Pastato informacinis

modeliavimas susitelkia skaitmeninės statybos projekto informacijos plėtojimui, naudojimui ir perdavimui tam, kad patobulintų dizainą, konstrukcijas ir projekto vykdymo procesus, įrangą (Messner *et al.* 2011).

BIM institutas Kanadoje pasiūlė, kad BIM projektavimas būtų privalomas viešajame sektoriuje Kanadoje. Autoriai Porwal ir Hewage (2013) teigia, kad dominuojantis veiksnys, darantys įtaką BIM diegimui viešajame sektoriuje yra atsakingų organizacijų nesugebėjimas standartuoti ir patentuoti BIM veikimo. Norint kad informacija būtų laisvai prieinama visiems statybos rinkos dalyviams, reikalingi standartai ir protokolai bendra kalba, programinės įrangos paketai, galintys sąveikauti tarpusavyje. Kitaip nei Jungtinė Karalystė, JAV, Suomija, Švedija ar Norvegija, Kanada neskuba BIM padaryti privalomu viešiesiems pirkimams, kadangi BIM dar nėra pilnai pripražintas. Vidutiniškai 30 % Kanados statybos sektoriaus dalyvių naudojami BIM technologijomis, kai JAV šis skaičius yra beveik 50 % (McGraw-Hill-Construction, 2009). Viešas sektorius Kanadoje labiau rūpinasi administraciniais klausimais, BIM panaudojimas nėra pirmenybė, o tik vienas iš įsipareigojimų (Porwal, Hewage 2013).

Suomijoje valdžios institucijos, vietinės savivaldos, pramonės atstovai pradeda suprasti BIM galimybes (Tulenheimo 2015). 2012 metais išleistame bendrųjų BIM reikalavimų vadove buvo pabrėžta didėjanti būtinybė sukurti bendras taisykles ir standartizuoti BIM. Pirmieji įgaliojimai ir reikalavimai buvo skirti tik pastatų projektavimui, o 2015 metais išleisti bendrieji reikalavimai infrastruktūros projektams. Su panašiu BIM panaudojimo skatinimu vyriausybiniu lygiu susidurta daugelyje šalių visame pasaulyje. Vienas iš didžiausių investuotojų į šį naują procesą yra Jungtinė Karalystė, kurioje vietos valdžia pareiškė, kad nuo 2016 metų visi viešojo sektoriaus statybos projektų pirkimai turės būti atlikti naudojant BIM (Tulenheimo 2015).

BIM koncepcija – pastatyti pastatą virtualiai prieš pastatant realų pastatą. Tokiu būdu išvengiama papildomų problemų, galima analizuoti potencialius veiksnius pastatui (Smith 2007). Visa informacija kaupiama centriniame faile. Kuriant pastato informacinį modelį, visi projekto aspektai, turi būti aiškūs ir lengvai prieinami visiems suinteresuotiems dalyviams. Smith (2007) teigimu, prieš imantis statybos įgyvendinimo, pastato informacinis modeliavimas turi būti baigtas visais atžvilgiais, skirtingų sistemų poveikiai, prijungimai, turi būti išspręsti. Visos statybinės konstrukcijos, produktai, parinkti modelyje, yra tiksliai nurodyti, konstruktorių patikrinti, išspręsti sujungimo mazgai. Kai visos problemos modelyje yra išspręstos, jis „užrakinamas“. Optimalaus energijos panaudojimo, žemiausios kainos, gyvavimo ciklo analizės gali būti atliktos bet kurios stadijos metu. BIM padeda išspręsti sudėtingus konstrukcinius sprendimus, įvertina statybų trukmę, laiką, konstrukcijas, leidžia bendradarbiauti

architektams, inžinieriams, konstruktoriams, užsakovams ir subrangovams viso statybų proceso metu.

1.1.2. BIM naudojimo privalumai ir trūkumai

BIM panaudojimo galimybės yra labai plačios. Pastato informacinio modelio dėka statybos projektą galima sukurti virtualioje erdvėje. Jo pritaikymas pasaulyje atskleidžia pastato informacinio modeliavimo privalumus ir trūkumus.

Vienas didžiausių BIM privalumų – tai lengvas klaidų šalinimas. Taip yra todėl, kad pastato informacinis modeliavimas – virtualioje erdvėje. Kadangi visa informacija kaupiama viename modelyje, atsiradus klaidai, ją ištaisyti nesudėtinga, konstrukcijų neatitikimai greitai pastebimi ir lengvai koreguojami, informacijos atnaujinimas automatiškas, greitas.

Remiantis teorija (Hattab, Hamzeh, 2015) skirtingi BIM panaudojimo scenarijai rodo, kad BIM tinklas yra efektyvus mažinant sukuriamų klaidų skaičių. Pasipriešinimo klaidoms mechanizmai: nuolatinis ir tiesioginis bendravimas (esamuoju laiku), avarijų aptikimas, automatizuotas standartų / kodų tikrinimas, projektavimo universalumas ir nuolatinis mokymasis sviri priežastis mažinant projektavimo metu atsirandančių defektų skaičių. Pasak autorių reikalingi tolimesni tyrimai patikrinti teorinius eksperimentus, atliktus užsienio autorių.

Howell *et al.* (2005) išskiria tokius BIM privalumus: 3D pastato modelio sukūrimas leidžia automatiškai gauti planų, pjūvių, fasadų vaizdus, lengvesnė statybos objekto priežiūra, dirbant su vienu modeliu, nebekyla nesutapimų tarp projektuojamų elementų, dirbant viename modelyje, informacija programoje atnaujinama automatiškai, ją lengva generuoti.

Pasak Messner *et al.* (2011), tinkamai įgyvendinus, BIM gali suteikti daug naudos projektui. BIM vertė atsiskleidžia didesne projekto kokybe atlikus efektyvią analizę, geresniu surenkamų elementų suprojektavimu ir parinkimu dėl nuspėjamų sąlygų turint virtualų modelį, tikslesniu darbų kiekio skaičiavimu, platesniu inovacijų panaudojimu. Baigus projektavimo etapą, vertinga informacija gali būti panaudojama tolesniam projekto įgyvendinimui.

Azhar *et al.* (2010) nagrinėja BIM privalumus, grėsmes ir iššūkius. Jų nuomone pastato informacinis modeliavimas išsiskiria tokiais bruožais: greitesnis ir efektyvesnis procesas – informacija lengva dalintis, nesudėtingas atnaujinimas, daugkartinis panaudojimas;

- geresnis projektas – pastato pasiūlymai gali būti lengvai analizuojami, sukuriamos simuliacijos, automatinis analizių palyginimas, panaudojami patobulinti inovaciniai sprendimai;

- kontroliuojami ir kaupiami duomenys apie aplinkos įtaką, gyvavimo ciklo sąnaudas;

- geresnė produkcijos kokybė – produkcijos dokumentacija yra lanksti ir naudojama automatizavimui;
- automatinis duomenų apdorojimas – skaitmeninė informacija gali būti panaudota tolesniems procesams vykdyti, konstrukcinių sistemų gamybai, montavimui;
- geresnis klientų aptarnavimas – projekto pasiūlymai aiškūs ir suprantami dėl tikslių vizualizacijų;
- gyvavimo ciklo duomenys – reikalavimai, konstrukcijos, operatyvinė informacija gali būti panaudota įrenginių valdyme.

BIM suteikia labai veiksmingą būdą žymiai pagerinti projektavimo ir dokumentacijos kokybę (CRC for Construction Innovation, 2007). Jungtinis inžinerinės materialinės bazės centras Stenfordo universitete remdamasis 32 dideliais projektais, naudojusiais BIM technologijas, išskyrė tokius BIM naudojimo privalumus (SUCIFE 2007): sąnaudų skaičiavimo tikslumas < 3 %; 40 % panaikinta į biudžetą neįtraukta pinigų kaita; 80 % sumažintas sąmatos kūrimo laikas; 10 % sutarties vertės sutaupoma dėl išankstinio klaidų aptikimo; 7 % sumažintas projektavimo laikas; kai naudojamas 3D modelis investicijos grįžta po 5–10 kartų.

Vienas iš BIM modelio trūkumų, kad dažnai atsiradus lemiamai klaidai taisyti turimą medžiagą gali užtrukti daugiau laiko, nei pradėti projektą iš naujo. Taip įvyksta dėl pastato informacinio modelio informacijos gausos viename faile. Kita vertus, procesas vykdant antrą kartą vyksta greičiau.

Miglinskas (2012) vertindamas pastato informacinį modelį, įvardija trūkumus: BIM neveikia automatiškai (jo technologija automatizuoja informacijos surinkimo, apdorojimo, sisteminimo, saugojimo ir naudojimo procesą), vieningo standarto ir klasifikatoriaus nebuvimas (turi būti sukurta lanksti ir vieninga klasifikacinė sistema vieningam, kokybiškam statybos projekto dalyvių darbui bei išlaidų valdymui), reikia valingo sprendimo ir įgyvendinimo centro bei juridinės – normatyvinės bazės, teisinė bazė turi užtikrinti, kad visi projekto įgyvendinimo komandos dalyviai (statytojas, projektuotojas, valdytojas ir rangovai) turėtų lygiavertes sąlygas projekto kūrimo metu ir įgyvendinimo metu.

Užsienio autoriai vieningai teigia, kad viena didžiausių problemų – BIM duomenų nuosavybės teisės, autorių teisių apsauga, kiti įstatymai. Thompson (2001) kelia problemą – užsakovas mokėdamas už projektą, jaučia turįs teisę gauti visus projekto duomenis, tačiau architektų, inžinierių teisės taip pat turi būti apgintos. Todėl nėra vieningo atsakymo, kam priklauso duomenys. Be to, didelė problema, modelio duomenų valdymas ir atsakomybė prieš netikslumus. Prisiimti atsakomybę už atnaujinamus BIM duomenis ir užtikrinti jų tikslumą reiškia didelę riziką (Thompson, Miner, 2007).

Howell ir Batcheler (2005) įvertina pastato informacinio modelio panaudojimo potencialą, galimybes ir apribojimus. Autoriai įvardija nemažai panaudojimo minusų: BIM sukurto modelio failų dydis ir sudėtingumas, informacijos vartotojai nevykdo įsipareigojimų atnaujinti informaciją (brėžinius, atskirus modelio vaizdus), ja nuolat dalintis sinchronizuojant informaciją su centriniu failu, sudėtingas duomenų valdymas (pradėtas kurti naujo tipo serveris siekiant padėti spręsti klausimus, kad dideli informacijų srautai galėtų būti atnaujinami realiu laiku, failu galėtų naudotis daug vartotojų), maža tikimybė, jog visi projekto dalyviai (atskiros bendrovės) naudosis viena BIM sistema, vienoda programine įranga, viena technologija visiems projekto etapams.

Remiantis paskutinėmis AEC srities studijomis BIM panaudojimas atneša naujus iššūkius (Johansson *et al.* 2015). Labai dažnai modeliai tampa tokie dideli ir sudėtingi, kad viršija kompiuterio talpą, galimybes, todėl tampa problematiška stebėti modelius realiu laiku. Net naudojant dalinius modelius dažniausiai naudojamos programinės įrangos įrankiai BIM vizualizavimui neveikia arba tampa neįmanoma padaryti „renderius“ realiu laiku. Be to, net naujausia kompiuterinė įranga bus perkrauta priversdama architektus ir inžinierius pratrinti kai kuriuos modelio elementus, kad būtų įmanoma dirbti. Atsižvelgiant į šiuos nesklandumus naudojant didelius BIM modelius interaktyviai, šiuo metu dažniausiai naudojami submodeliai.

Kihong Ku ir Mojtaba Taiebat (2011) apklausė 31 kompaniją, naudojančią BIM. Šios kompanijos paminėjo tokius esamus pastato informacinio modeliavimo panaudojimo barjerus: kvalifikuotų darbuotojų trūkumas, įmonės investicijų stygius, inžinierių, architektų, subrangovų nenoras bendradarbiauti, darbo procesų ir modeliavimo standartų trūkumas, teisinių sutarčių trūkumas, reglamentuojantis informacijos dalijimąsis. Be to, kompanijos buvo apklaustos, kokie barjerai BIM panaudojimui gresia ateityje naujose srityse. Dažniausiai minėti aspektai buvo patirties ir informacijos stoka, kainos ir laiko apribojimai. Tokie barjerai išlieka, nes nors pažengę vartotojai jau investavo į tam tikrus programinius įrenginius ir procesus, naujos investicijos reikalingos tęsti mokymąsi ir įsitraukti į naujas sritis ir technologijas. Pažengusios BIM naudojančios kompanijos išskyrė, kad yra informacijos trūkumas apie investicijų į BIM grįžimą kompanijai, architektų, inžinierių, užsakovų bendravimo ypatumai, be to, nėra išleistų BIM modeliavimo standartų.

1.1.3. Technologijų įtaka darbo efektyvumui

Kymmel (2008) teigimu, paskutinius dešimtmečius architektai ir inžinieriai pradėjo daugiau naudotis 3D erdve nei braižymu 2D. Vis dėlto, 2D atsisakymas nėra galimas dėl leidimų išėmimo ir bendravimo su kitais statybų procesų dalyviais. Tiems, kas „nemoka skaityti planų“ darbas palengvinamas, kai

atitinkama informacija, brėžinių detalės yra vizualizuojamos. Be to, vizualizacijų kūrimas leidžia greičiau sulaukti atsako iš užsakovo.

Norint sėkmingai įgyvendinti pastato informacinį modelį, projekto komanda turėtų sudaryti detalų ir išsamų planą. Gerai paruoštas BIM projekto vykdymo planas užtikrins, kad visi proceso dalyviai aiškiai suvoks galimybes ir atsakomybes, susijusias su jų darbu, bus nesudėtinga dirbti su projektu skirtingų sričių atstovams (Messner *et al.* 2011).

Wetzel ir Thabet (2015) nagrinėja saugesnės statybos valdymą (angl. – Facility Management). Jų tyrimai parodė, kad kuo daugiau laiko ir pastangų darbuotojai turi atiduoti informacijos gavimui, tuo mažesnė tikimybė, kad jie tą informaciją įsisavins ir paklus nurodymams, todėl padidėja sužeidimų ir mirčių statyboje skaičius. Todėl autoriai sukūrė BIM struktūrą, kuria grindžiama saugesnė techninė priežiūra, statybų vykdymas visu pastato valdymo laikotarpiu. Naujausios technologijos galėtų padėti apdoroti sudėtingą duomenų bazių informaciją, skirtą pastatų valdymui, jeigu statytojai, mokslininkai, projektuotojai, rangovai naudosis BIM visu gyvavimo ciklo laikotarpiu (Wetzel, Thabet 2015). BIM modeliai galėtų būti susieti su „debesimis“, mobiliąja kompiuterija, papildytos realybės ir jutiklių duomenimis, RFID / QR technologijomis (RFID – radijo dažnio atpažinimo, QR – mobilus barkodas). Panaudojus naujausias technologijas darbo efektyvumas naudojant BIM smarkiai padidėtų.

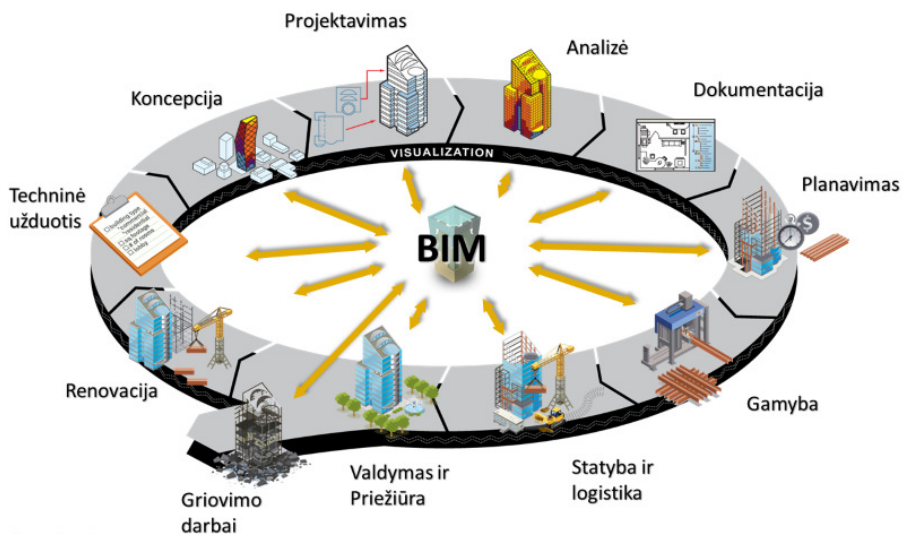
Wong, Fan (2012), pristatė pastato informacinio modelio (BIM) teikiamą efektyvumą kitu aspektu – darbo jėgos poreikio skirtumo statinio projektavimo procese. Autorius pristato, kad pradiniam projektavimo etape (iki pilno 3D modelio sukūrimo), BIM technologija reikalauja ženkliai didesnių darbo išteklių, nei tradicinio (2D) projektavimo modelis. Rengiant atskiras dalis, tokias kaip pjūviai, fasadai, specialiosios dalys (šildymas, vėdinimas, elektra) įvyksta lūžis darbo jėgos poreikyje.

BIM technologijos yra tinkamos visiems statybos objektams, tačiau jų populiarumą lėmė panaudojimas sudėtingų statinių projektavimui ir statybai: dangoraižiai ir daugiaaukščiai pastatai, tiltai ir viadukai, keliai, magistralės ir kt.

Pasak Scholtenhuis *et al.* (2016) BIM panaudojimo reikšmė infrastruktūros projektams, požeminių inžinerinių statinių statybai ir rekonstrukcijai yra milžiniška. Autoriai pabrėžia anksčiau disertacijoje minėtus BIM projektavimo privalumus tokius kaip: lengvesnis bendradarbiavimas tarp suinteresuotų šalių (projektuotojų, statytojų, projekto vadybininkų, savivaldybių ir kt.) esant 4D vizualizacijoms; lengvesnis statybos aikštelės logistinis planavimas – išankstinis vamzdžių, elektros linijų, kt. numatymas; klaidų ir nesusipratimų mažinimas naudojant modelį aplinkos įvertinimui; darbo grafikų įvykdomumo patikrinimas prieš pradedant statybas.

Remiantis Poirier et al. (2015) investicijos į naują įrangą ir technologijas gali pagerinti organizacijos darbo našumą, tačiau jos produktyvumo rodikliai iš tiesų gali sumažėti, jei naujos įrangos kaina yra didesnė nei santykinės santaupos, atsiradusios kaip darbo sąnaudų ir pelno rezultatai. BIM diegimas įmonėje sukuria iššūkį, kuris gali būti įgyvendintas tik kai BIM technologijų atsiradimas įmonėje yra pelningas, o pelnas potencialiai gali nusverti jo diegimo išlaidas.

1.2. BIM technologijų diegimo principai



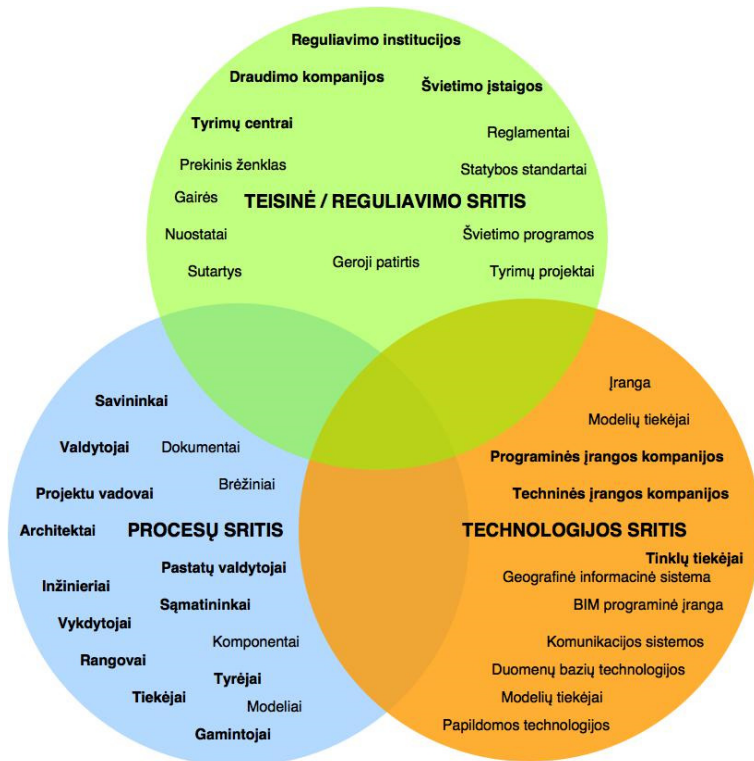
1.1 pav. BIM projektavimo etapai (BIM taikymas 2014)

Fig. 1.1. BIM design phases (BIM taikymas 2014)

BIM technologijų diegimo poreikis atsiranda įvertinus šių technologijų privalumus ir trūkumus, įmonės dydį, darbų, kuriems reikalingas pastato informacinis modeliavimas, kiekis, naudą bei atsiperkamumą įmonei. BIM projektavimo etapai pateikiami 1.1 paveiksle. BIM projektavimas sudalijamas etapais, kurie apima visą pastato gyvavimo laikotarpį: surašoma techninė užduotis, atliekami priešprojektiniai pasiūlymai – būsimą koncepcija, suderinus su užsakovu pradedamas projektavimas, kurio metu gaunama projekto vizualizacija, atliekamos įvairios analizės (simuliacijos), dokumentacijos rengimas, planavimas (konstrukcijų gamybos, statybos kalendorinio grafiko), gamyba, statyba ir logistika, statybos naudojimas ir priežiūra. Vėlesni etapai

priklauso nuo situacijos – jei vykdoma renovacija, tuomet etapai yra kartojami, jei ne – vykdomi griovimo darbai. Succar (2009) nagrinėja BIM taikymo struktūrą. BIM suskirstoma į 3 sritis (1.2 paveikslas):

1. BIM technologijų sritis;
2. BIM procesų sritis;
3. BIM teisinė / reguliavimo sritis.



1.2 pav. Trys BIM veiklos taikymo sritys (Succar 2009)
Fig. 1.2. Three interlocking Fields of BIM activity (Succar 2009)

Kiekvienai sričiai numatomi dominuojantys dalyviai ir jų veikla. BIM diegimas yra skirtingas kiekvienai sričiai. BIM technologijų sričiai priklauso grupė dalyvių, kurie specializuojasi plėtojant programinę, techninę įrangą, įvairius įrengimus, tinklų sistemas reikalingas padidinti produktyvumą ir pelningumą AECO sektoriui (architektūra – inžinerija – statyba – priežiūra). Apimamos organizacijos, kurios generuoja programinės įrangos sprendinius ir įrangos tiesioginį ir netiesioginį pritaikomumą projektavimui, statybai ir įrenginių priežiūrai (Succar 2009). BIM panaudojimas šioje srityje yra

specializuotas, sritis savo darbo rezultatais daro didžiausią įtaką procesų srities atstovams, kad BIM diegimas būtų efektyvesnis ir statybos pramonė greičiau pereitų prie naujos kartos technologijų.

BIM procesų sričiai priklauso grupė dalyvių, kurie vykdo, projektuoja, stato, užsiima gamyba, naudoja, eksploatuoja statinius. Sričiai priklauso savininkai, architektai, inžinieriai, rangovai, įrenginių vadovai, ir visi AECO pramonės atstovai, kurie susiję su nuosavybe, pristatymu ir statinių priežiūra (Succar 2009). Ši sritis jaučia didžiausią spaudimą pradėti naujausias pastato informacines technologijas. Procesų srities atstovai delsia naudoti BIM laukdami išsamesnių technologijų atsiperkamumo įrodymų, tiria rinką laukdami BIM įsidięusių konkurentų sėkmės pavyzdžio įrodymo.

1.1 lentelė. BIM sričių dalyviai ir rezultatai (Succar 2009)

Table 1.1. BIM fields: players, deliverables and interactions (Succar 2009)

Elementai	Teisinė / reguliavimo sritis	Procesų sritis	Technologijų sritis
Srities apibūdinimas	Srityje ugdomi specialistai, atliekami tyrimai, kuriami standartai ir siekiama išnaudoti BIM privalumus ir sumažinti konkurencingumą tarp statybos pramonės dalyvių	Šioje srityje numatoma sąveika tarp projektavimo, statybos, ir priežiūros reikalavimų siekiant sukurti ir prižiūrėti pastatus ir įrenginius	Srityje numatomas mokslinių žinių panaudojimas praktiniams tikslams. Srityje numatoma sąveika tarp programinės ir techninės įrangos, įrenginių, tinklų sistemų, siekiant pagerinti statinių ir inžinerinių tinklų ir susisiekimo komunikacijų projektavimą, statybą ir priežiūrą.
Dalyviai	Savivaldybės, tyrėjai, švietimo įstaigos, draudimo kompanijos, reguliavimo institucijos	Statytojai, valdytojai, architektai, inžinieriai, samatininkai, tyrėjai, plėtotojai, rangovai, subrangovai – tiekėjai, gamintojai, įrenginių valdytojai	Programinės įrangos, techninės įrangos, tinklų kompanijos bei jų plėtojimo ir pardavimų atstovai / paslaugų ir įrenginių platintojai
Srities rezultatai (dalyvių sukuriami produktai / paslaugos)	Nuostatai, reglamentai, gairės, standartai, geroji patirtis, orientyrai, sutartys, švietimo programos	Statybos produktai ir paslaugos įskaitant brėžinius, dokumentus, virtualius modelius / komponentus, fizinius komponentus, statinius ir įrangą	Programinė įranga, techninė įranga, išoriniai įrenginiai, tinklų sprendiniai, biurų / aikštelių įranga

BIM teisei / reguliavimo sričiai priklauso grupė dalyvių, kurie rengia praktikus, atlieka tyrimus, paskirsto privalumus, nustato rizikas ir sumažina

konfliktus AECO pramonėje. Šie dalyviai nesukuria jokių statybos produktų, tačiau yra specializuotos organizacijos – draudimo kompanijos, tyrimų centrai, švietimo įstaigos ir reguliavimo institucijos, kurios vykdo pagrindinį pasirengimą, užima reguliavimo ir sutartines funkcijas projektavimo, statybos ir priežiūros procesuose (Succar 2009). 1.1 lentelėje pateikiami BIM sričių dalyviai ir rezultatai.

BIM technologijų diegimo principai yra nevienodi skirtingiems projekto dalyviams. Dižiausia nauda ir atsiperkamumas (ROI) juntama tuomet, kai BIM projektas naudojamas visu statinio gyvavimo laikotarpiu. Tačiau projektavimo įmonei, jei ji neužsima statybomis neaktualu diegti BIM programas, jei ji nepajus konkrečios piniginės naudos. Išlaidas ir privalumus, suteikiamus BIM yra labai sudėtinga įvertinti. Šiuo metu labai aktualu įvertinti BIM atsipirkimą, kadangi pastato informacinio modelio technologijos yra vis labiau integruotos į AEC projektus, pagerina komunikaciją ir skatina bendradarbiavimą. Vienas iš trukdžių įvertinti technologijas yra komplikotas informacijos prienamumas. Todėl buvo sukurti matavimo įrankiai, kuriais vartotojai gali pranešti apie BIM veiklos sąnaudas ir naudą (Lu *et al.* 2014).

BIM gali būti naudojamas įrodyti naudą viso pastato gyvavimo ciklui įskaitant statybos ir įrangos veikimą. Kiekiai ir bendros medžiagų savybės gali būti gauti tiesiai iš modelio. Skirtingi darbai gali būti izoliuoti, apibūdinti įvairiais skirtingais BIM programinės įrangos parametrais. BIM panaudojimas gali suteikti bendrą platformą bendradarbiavimui dalijantis grafine ir negrafine informacija bet kokiems pastatų ir infrastruktūros projektams. (Shen *et al.* 2012). Pritaikant BIM naudojimą projektavimo kompanijoje atsiranda įvairūs iššūkiai kaip priešiškus pokyčiams, esamos darbo eigos adaptacija prie sudėtingų programų, apmokymų poreikis, aiškus atsakomybių nustatymas tarp komandos dalyvių, supratimo apie aukštos klasės techninės įrangos išteklius (Arayici *et al.* 2011). Nepaisant to, kad BIM naudojimas dar nėra visuotinas, tačiau BIM jau pradėta naudoti tvariam projektavimui, ir projektavimo įvertinimo analizėms, tokioms kaip LEED ir BREAM (Azhar *et al.* 2011).

„Green“ BIM idėja yra remiama dėl potencialo siekiant saugoti aplinką, vykdyti tvarią statybą naudojant integruotą BIM projektavimą (Wong, Zhou, 2015). Techninės literatūros, leidinių ir pareiškimų apžvalga viešajame ir privačiame sektoriuose rodo, kad „green“ BIM panaudojimas yra populiarus energinio naudingumo analizės įrankis visu pastato projektavimo laikotarpiu. Kol kas „green“ BIM idėja pasak Wong ir Zhou (2015) turi būti vystoma, svarstomos tokios problemos: 1) koncepcijos „mažinti panaudojimą, pakartotinai naudoti ir perdirbti“ (angl. „reduce, reuse and recycle“) įvertinimas atliekant BIM tvarumo analizę; 2) BIM sistemos integravimas į įrenginių eksploatavimo priežiūros instrukcijas siekiant holistinio mažesnio anglies dioksido panaudojimo pastato naudingumo metu; 3) praktiškesnis BIM įrankių

panaudojimas siekiant žaliojo pastato sertifikato; 4) „green“ BIM įrankių suderinamumas ir pritaikymas draugiškai vartotojui aplinkai; 5) griežtesni, mokslininkams ir praktikams bendradarbiaujant atliekami tyrimai, siekiant išsiaiškinti, kaip „green“ BIM technologijos turėti būti plėtojamos siekiant sumažinti anglies dioksido ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų išskyrimą visu pastato gyvavimo laikotarpiu.

Apsisprendus diegti BIM, organizacija turi sukurti BIM misiją. Kuriant misiją yra apsvarstoma, kuo įmonei svarbus BIM, priežastys, įtakojusios jo diegimą (konkurencingumo galimybė, didesnis produktyvumas, geresnė projektų kokybė, statybos pramonės poreikis, užsakovo poreikiai, įmonės inovacijų pagerinimas). Sukurta aiški misija yra sklandaus darbo pagrindas vykdant organizacinius sprendimus, susijusius su BIM (Messner *et al.* 2011).

Dažniausiai užsakovo įtakojamas projektuotojas pradeda naudoti pastato informacinį modelį. Dideliems objektams BIM panaudojimas naudingas iš karto ir projektuojant milijoninius objektus atsiranda tikimybė, kad investicijos į programą atsipirks atlikus vieną projektą. Esant mažesniems projektams projektuotojas priverstas didinti projekto kainą arba nesidiegti BIM priklausomai nuo užsakovo poreikių. Kita vertus, kol kas dar nėra privaloma naudoti BIM Lietuvos valstybinės reikšmės projektams, tačiau tikėtina, kad greitai metu bus pereita prie užsienio praktikos. Remiantis Amerikos architektų instituto duomenimis, 60 % architektų firmų Jungtinėse Amerikos Valstijose naudoja daugiau nei 50 % savo atliekamų projektų kokią nors BIM formą, tuo tarpu Suomijoje – 93 % projektų (Howard, Bjork 2008). Be to, viešosios paskirties pastatų projektams JK, JAV, Danijoje, Suomijoje, Honkonge pradedama reikalauti BIM panaudojimo (Wong *et al.* 2012).

Nagrinėjant BIM programų diegimą, naudą, vartotojui kyla klausimas, kada įvyksta lūžis tarp 2D ir BIM projektavimo. Lemiamą įtaką lūžiui ir pokyčiams turi 2 veiksniai:

1. Projektuotojų užtikrintumas dėl „rytdienos“ užsakymų paklausos. Šiandieninėje rinkoje yra daug projektavimo įmonių, kurios siūlo tą patį produktą už skirtingą kainą. Sąvoka „apsimoka“ yra skirtinga naujai pradėjusiai vykdyti veiklą įmonei ir didelei, ilgametę patirtį turinčiai įmonei, kurioje dirba brangiai apmokomi kvalifikuoti darbuotojai. Todėl statytojui yra sudėtinga pasirinkti projektuotoją, kadangi reikia įvertinti projektų skirtumus (brangesnių ir pigesnių projektų pranašumai). Tik pradėjus statybą, pamatomas išigyto projekto profesionalumo lygis, privalumai ir trūkumai.

2. Naujų projektuotojų neatsiradimas. Projektuotojams gali tekti pradėti naudotis BIM programomis, jei šalyje nebus naujų kvalifikuotų darbuotojų papildymo projektavimo srityje, projektų paklausa smarkiai augs, o naują darbuotoją rasti bus sunku. Tokiu atveju įmonės pradės ieškoti greitesnių projektavimo būdų. Įmonės bus garantuotos, kad turės darbo ilgam laikotarpiui į

priekį, užsakovai nepereis pas kitą projektuotoją, kol darbuotojai mokysis BIM projektavimo.

Pastato informacinis modeliavimas dažnai pristatomas kaip panacėja, privalomas pokytis statybos pramonėje. Dominuojančios statybos šakos charakteristikos yra: priešiški santykiai, žema kaina ir pasitikėjimo trūkumas (Elmualim 2009). Reikalingi pokyčiai yra tiek kultūriniai, tiek technologiniai. Nagrinėjant BIM diegimą svarbu suprasti, kad pastato informacinis modeliavimas yra labai plati sąvoka, kurią galima suvokti kaip veiksmažodį ar būdvardį, galintį apibūdinti įrankius, procesus, technologijas, kurios papildomos skaitmenine dokumentacija apie pastatą, jo planavimą, statybą ir eksploataciją bei priežiūrą (Eastman *et al.* 2009). Naudojant BIM, technologija turėtų būti taikoma nuo projektavimo pradžios. Tuomet pramonėje BIM priimamas kaip įprasta darbo metodika ir tampa įprastine praktika. Tačiau galima pradėti naudoti BIM bet kurioje projekto stadijoje. Natūralu, kad tai turės įtakos kainai, laikui, reikalingiems ištekliams ir atsiradusių reikalingų taisyms mastui. Labai svarbu nustatyti, kodėl naudojamas BIM. Jei technologijų panaudojimą lėmė užsakovo įtaka, svarbu žinoti, kam jam reikalingas BIM projektas. Ar projektas reikalingas procesų efektyvumui padidinti, ar skirtinguose projektavimo etapuose užsakovui bus reikalinga pateikti tam tikrus modelio ir duomenų rinkinius (brėžinius, dokumentaciją, simuliacijas, kt.) (Blackwell 2014).

Siekiant veiksmingai integruoti BIM į projektavimo procesą, labai svarbu BIM diegimui / integravimui naudoti detalų BIM įgyvendinimo planą. BIM projekto įgyvendinimo planas („BIM planas“) apibūdina bendrą įgyvendinimo viziją, detales, kurių komanda siekia visu projekto įgyvendinimo laikotarpiu. BIM planas turėtų būti plėtojamas pradiniam projektavimo etape ir nuolat papildomas, kadangi nauji dalyviai bus įtraukti į projektą. BIM įgyvendinimo planas turi būti nuolat stebimas, atnaujinamas ir tikslinamas. Plane turėtų būti apibrėžta BIM projekto įgyvendinimo apimtis. Be to, būtina nustatyti informacijos srautus tarp projekto dalyvių, tiksliai numatyti BIM užduotis, apibūdinti reikiamą projekto ir įmonės infrastruktūrą, kuri reikalinga įgyvendinimui. Vienas iš svarbiausių planavimo proceso žingsnių – aiškiai apibrėžti potencialią BIM vertę pačiam projektui ir projekto komandos nariams apibrėžiant bendrus tikslus BIM įgyvendinimui. Tikslai turėtų būti grindžiami projekto veikla ir turėtų įvertinti darbo grafiko sumažėjimą, produktyvumo padidėjimą, kokybės pagerėjimą, sumažėjusias išlaidas dėl papildomos informacijos pateikimo, svarbių duomenų apie statinį pateikimą (Messner *et al.* 2011).

Statybos pramonė yra viena svarbiausių šakų visose nacionalinėse ekonomikose pasaulio mastu. Pavyzdžiui JK 4,5 % žmonių dirba statybos pramonėje. Pagal paskutinius tyrimus statybos pramonėje dirba 1,9 milijono žmonių, 40 % iš jų dirba savarankiškai (Elmualim, Gilder 2014). Pirmas

uždavinys statybos įmonėms yra suprasti priežastis, kurios daro įtaką BIM diegimui. Dažnai statybos pramonė yra kaltinama žemu produktyvumu. Pagrindinis kaltininkas – suskaldyta statybos pramonė (labiausiai dėl projektavimo – konkurso – statybos sistemos). Pagal šią sistemą užsakovas dažniausiai pasirašo atskiras sutartis su architektu, inžinieriumi, rangovu, – šalimis, kurios ne visada dirba efektyviai kartu (konkuruoja šių atstovų interesai) (CIFE 2007). Statybos pramonei reikalingas sklandesnis bendravimas ir bendradarbiavimas, paremtas informacijos sąveika tarp statybos procesų dalyvių (Lu *et al.* 2014). Elmualim ir Gilder (2014) teigimu, statybos pramonėje reikalingi reikšmingi pokyčiai darbo kultūroje, požiūryje ir darbo metoduose. Statybos pirkimų tendencija turėtų kisti iš laisvų konkursų į pasirinkimo procesą, paremtą kokybės ir kainos balansu. Konkursai paremti žemiausios kainos principu turėtų tapti praeitimi (Contasfor *et al.* 1998).

Sklandesnis bendradarbiavimas tarp skirtingų statybos dalyvių yra įmanomas parengiant BIM įgyvendinimo planą pradiniam projektavimo etape. BIM įgyvendinimo plano komandą sudaro visi projekto dalyviai: statytojas (užsakovas), projektuotojas, rangovas, inžinieriai, pagrindiniai rangovai, įrenginių (pastato) valdytojas, projekto savininkas (arba jų atstovai). Svarbus pradinis tikslų nustatymo susirinkimas, kuriame apibrėžiamos tolesnės planavimo iniciatyvos projektui. Nustačius tikslus gali būti pradėtas rengti BIM įgyvendinimo planas (paskiriami atsakingi asmenys už kiekvieną suinteresuotą projekto dalį – BIM koordinatoriai) (Messner *et al.* 2011).

Pagrindinis pramonės trūkumas yra projektavimo atskyrimas nuo viso statybos projekto proceso, todėl pastatų eksploatacinės savybės yra prastos, pastatų išnaudojimo lankstumas yra mažas, eksploataavimo ir techninės priežiūros išlaidos išauga, prastos tvarumo savybės. Todėl projektuotojai turi dirbti bendradarbiaudami su kitais projekto dalyviais ir projektuojant atsižvelgti į viso pastato egzistavimo sąnaudas (Elmualim, Gilder 2014). BIM įgyvendinimo planas suteikia galimybę pasiekti šiuos BIM privalumus (Messner *et al.* 2011):

1. Visos šalys aiškiai supranta ir bendradarbiauja siekiant strateginių tikslų įgyvendinant BIM projektą.

2. Organizacija suvokia savo vaidmenį ir atsakomybę įgyvendinant BIM projektą.

3. Komanda gali planuoti BIM projektavimo įgyvendinimo procesą, kuris yra gerai tinkamas kiekvienos komandos nario verslo praktikai ir tipiniams organizaciniais darbo srautams.

4. Planas aiškiai apibrėžia reikalingus papildomus išteklius, mokymus ar kitų kompetencijų būtinumą sėkmingai įgyvendinant BIM numatytoms reikmėms.

5. Plane nuosekliai apibūdinamas projektavimo procesas, todėl atsirandant naujiems projekto dalyviams lengva pradėti dirbti su BIM projektu.

6. Nustačius tikslus lengviau užtikrinti projekto dalyvių įsipareigojimus.

7. Ankstyvas planavimas suteikia galimybę matuoti progresą per visą projekto įgyvendinimo laikotarpį.

BIM diegimas ir jo sąnaudų / naudos tyrimai yra neatskiriama susiję. Siekiant, kad technologija išliktų konkurencingoje rinkoje būtina jos naudojimui turėti rimtą ekonominį pagrindą. Viena iš pagrindinių kliūčių tam yra papildomos kainos, įrodančios BIM naudą, objektyvus pagrindimas (Li *et al.* 2009). Naujiems vartotojams reikalingas paskatinimas – empiriniai įrodymai, o investuotojams – įrodymai apie investicijų grąžą ir biudžetą (Lu *et al.* 2013).

Jungtinėje Karalystėje buvo atliktas tyrimas, kurio metu apklausti įvairių statybos šakų specialistai: statybos vadovai, projekto vadovai, architektai, gamybos technologai ir tyrėjai. Tyrimo autorių teigimu, BIM technologijos pakeičia požiūrį į pastatų projektavimą, statybą ir priežiūrą, todėl reikalinga pakeisti apmokymų būdą, statybos profesionalai turėtų būti ugdomi kartu. Dažnai klientai ir vartotojai ginčijasi, kad statybos trunka per ilgai, kainuoja per daug, yra prastos kokybės. Tyrime dalyvavo 143 respondentai iš įvairių pasaulio šalių: JK, Airijos, JAV, Indijos, Ganos, Kinijos, Rusijos, Pietų Afrikos, Australijos, Malaizijos ir Jungtinių Arabų Emyratų. Rezultatai parodė, kad 44 % respondentų nuomone už projekto valdymą organizacijoje yra atsakingas projekto vadovas. Dauguma organizacijų teigė, kad samdo projekto vadovą. Respondentai teigia, kad sudėtinga tiksliai apibūdinti, už ką atsakingas BIM projekto vadovas, kadangi tai priklauso nuo projekto dydžio, tipo, organizacijos. Projekto vadovas yra asmuo, atsakingas už projektavimo proceso valdymą ir koordinavimą nuo dalyvavimo pirkimų konkurse iki projekto užbaigimo. Jis yra atsakingas už projekto įvykdymą pagal specifikacijas, laiku ir pagal biudžetą (Elmualim, Gilder 2014).

Užsienio mokslinės literatūros duomenimis, naudojant BIM technologijas, turi būti paskirtas vadovaujantis asmuo BIM plano įgyvendinimui (statytojas, architektas, programos vadovas, konstrukcijų dalies vadovas). Beje kai kuriems projektams naudinga, kad projektavimas būtų pradėtas paties savininko, tuomet BIM įgyvendinimo planas būtų vis papildomas kitos atsakingos šalies – architekto, konstrukcijų dalies vadovo ir t. t. Kartais sudaromos sutartys su trečia šalimi, kuri vadovauja BIM įgyvendinimo procedūrai (Messner *et al.* 2011).

Statybos pramonė diegdama BIM susiduria su įvairiais iššūkiais. Pagrindiniai 3 iššūkiai – darbuotojų apmokymai naujiems procesams / darbo eigai (56,8 %), efektyvus proceso / darbo eigos įdiegimas (56,8 %), pakankamas BIM supratimas jo diegimui (54,5 %) (Elmualim, Gilder 2014). Atliekant pastato informacinio modelio poreikio analizę vienas didžiausių iššūkių yra sudėtingas informacijos apie BIM diegimą gavimas AEC pramonėje. Tyrėjai

dažnai pasitelkia „anekdotinius“ įrodymus, paremiančius BIM naudą, nors empiriniai skaičiavimai nebuvo atlikti. Be to, atliekant tyrimus tyrėjai dažnai sukuria kontroliuojamą eksperimentinę atmosferą, kuri nėra natūrali, todėl rezultatai nėra teisingi. Realūs statybos pramonės procesai būna veikiami įvairių skirtingų veiksnių – oro, aplinkos sąlygų ir dalyvių elgsenos. Patikimų duomenų stoka neleidžia taikyti išsamių matematinių metodų (pvz., ekonometrijos modelių, naudojančių daug duomenų). Vienas iš būdų teisingai įvertinti BIM – analizuoti skirtingus tos pačios organizacijos atliekamus projektus (Lu *et al.* 2014), atlikti patikimų projektavimo kompanijų apklausas. Jungtinėje Karalystėje atlikto tyrimo metu, kokios yra BIM programų nesidiegimo priežastys, 20,4 % teigė jiems trūksta kapitalo investuoti į pradinę programinę ir techninę įrangą. 2 % apklaustųjų nuomone BIM yra per daug rizikinga iš teisinės atsakomybės pusės garantuojant dalyvaujančių skirtingų sričių specialistų darbo kokybę. Be to, net 15,3 % teigia, kad BIM privalumai neatsveria trūkumų, tiek pat teigia, kad privalumai nėra pakankamai apčiuopiami, kad būtų galima garantuoti programos panaudojimą. Dauguma BIM vartotojų teigia (apie 70,2 %), kad jiems reikalingas išsamus supratimas kaip BIM privalumai atsveria didelę kainą ir kitus su ištekliais susijusius faktorius. Apklausus, kas paskatintų svarstyti naujų platformų naudojimą, 35,1 % teigė, kad jiems padėtų dalyvavimas kūrybinėse dirbtuvėse (Elmualim, Gilder 2014).

Kaip bet kurios kitos technologijos, taip ir BIM įdiegimas sukuria riziką, kuri ypač didelė nepatyrusioms kompanijoms, kurios nėra pažįstamos su strategijomis ir komandų narių procesais. Kuriant BIM įgyvendinimo planą dominuoja 4 pagrindiniai žingsniai (Messner *et al.* 2011):

1. Nustatomi BIM tikslai ir panaudojimas.
2. BIM įgyvendinimo plano proceso projektavimas.
3. Informacijos mainų plėtojimas.
4. Nustatoma infrastruktūra sėkmingai įgyvendinti planą.

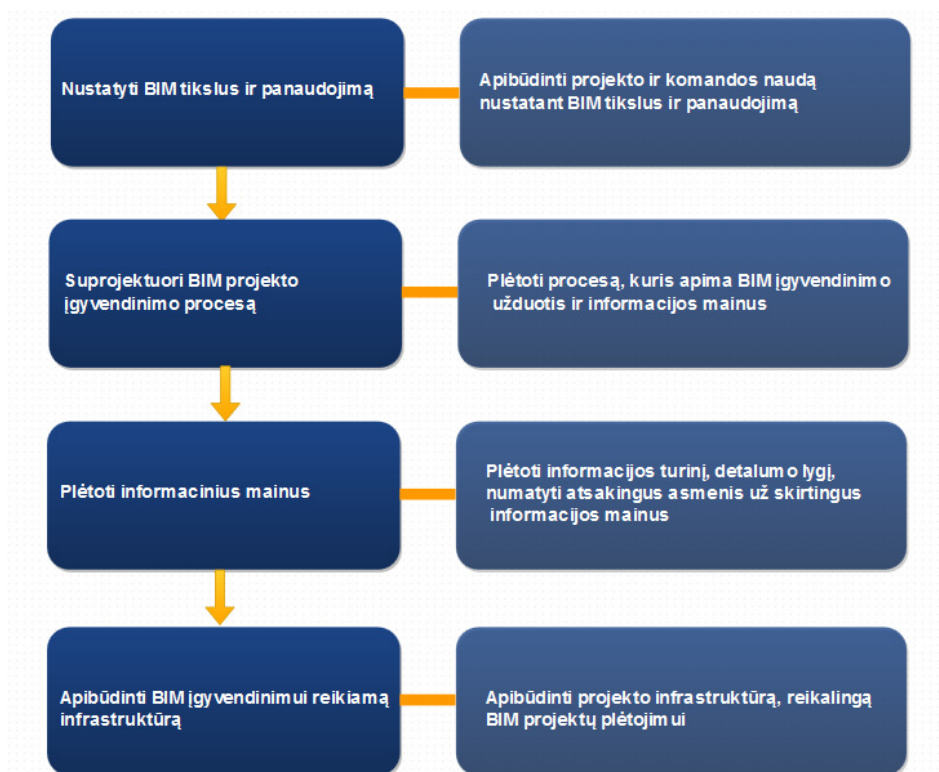
Diegiant BIM labai svarbu numatyti kaip projekto komanda bendradarbiaus. Planuojant reikia nustatyti bendravimo metodus, dokumentų valdymą ir perdavimą, įrašų saugojimą (Messner *et al.* 2011).

Konkreiti bendradarbiavimo veikla turėtų būti apibrėžta (1.3 paveikslas):

1. Nustatyta visa bendradarbiavimo veikla, kuri paremta BIM naudojimu.
2. Nustatyta, kur kiekvienas projekto etapas bus vykdomas.
3. Nustatytas atitinkamas veiklos dažnumas.
4. Nustatyti dalyviai, reikalingi vykdyti veiklai.

Norint suprasti projektavimo valdymą atrodo akivaizdu, kad individualus asmuo (ar grupė individų) turi įgyti bendrą supratimą tarp „projektavimo“ ir „valdymo“ siekiant pilnai išnaudoti architekto, vadovo kompetencijas (Elmualim, Gilder 2014).

Yra keletas sėkmingo BIM integravimo į įmonės veiklą koordinuojamų siūčių – darbo aplinkos sritis, kokybės kontrolė, programinė ir techninė įranga. Vykdamas BIM projektavimą reikia numatyti fizinę aplinką, kuri bus reikalinga visu projekto įgyvendinimo laikotarpiu – vieta bendradarbiavimui, komunikavimui, kritikai, kuri pagerins BIM planavimo sprendimų priėmimo procesą. Numatoma, kaip komanda bendradarbiaus, ar bus numatyta atskira erdvė, panaudojamas BIM „treileris“ ar atskiros darbinės patalpos. Jei numatomas BIM „treileris“, reikia numatyti jo vietą, reikalingą įrangą, kuri bus šioje zonoje (kompiuteriai, projektoriai, stalai, jų konfigūracija ir t. t.). Pradėjus vykdyti veiklą būtina numatyti kokybės kontrolės patikrinimo tvarką. Kiekvienas projekto komandos narys turėtų būti atsakingas už kokybės kontrolės patikrinimus savo srityje – duomenų, modelio ir t. t. prieš pateikiant juos kitiems.



1.3 pav. BIM projekto įgyvendinimo planavimo procedūra
(Messner *et al.* 2011)

Fig. 1.3. The BIM Project Execution Planning Procedure
(Messner *et al.* 2011)

Dokumentacija, jog kokybės kontrolė buvo atlikta gali būti pateikiama kartu su BIM projekto vykdymo ataskaitomis. BIM vadovas (vadybininkas) yra atsakingas už BIM modelio kokybės patvirtinimą po revizijos atlikimo. Numatoma tokia kokybės kontrolė: vizualus patikrinimas, trukdžių modelyje patikrinimas, standartų patikrinimas – modelis atitinka standartus, bei numatytus komandos reikalavimus, elementų patvirtinimas – užtikrinama, kad modelis neturi neapibrėžtų ar netinkamai apibrėžtų elementų (Messner et al. 2011).

Naudojantis pastato informacinio modelio technologijomis derėtų įvertinti pačios technologijos poreikius, reikalingą programinę bei techninę įrangą. Projekto komanda turėtų nustatyti reikalavimus programinei ir techninei įrangai, programinės įrangos platformoms, licenzijoms, tinklams, projekto modeliavimo turiniui. Projekto komanda ir vykdančioji organizacija turi apsispresėti, kokia programinės įrangos platforma ir jos versija bus naudojama įgyvendinant planavimo metu numatytus tikslus. Programinė įranga nustatoma pačioje projektavimo pradžioje. Aptariamais ir tokie klausimai, kaip programų formatai, kuriais bus dalijamasi, keitimosi procesas, programų atnaujinimai ir versijos siekiant išvengti problemų dėl formatų nebesąveikaujančių su naujausiais atnaujinimais (Messner et al. 2011). Pradėjus dalintis informacija tarp skirtingų organizacijų būtina gerai išmanyti techninės įrangos galimybes. Siekiant užtikrinti, kad informacijos mainai tarp visų suinteresuotų šalių būtų sklandūs, turi būti naudojami pakankamai galingi įrenginiai ir techninė aparatūra, atitinkanti BIM reikalavimus tarp visų projekto dalyvių (perduodant sudėtingus BIM failus tiek siuntėjas, tiek gavėjas turi būti užtikrintas savo įrenginių kokybišku veikimu) (Messner et al. 2011).

Labai dažnai BIM programose atsiranda neskalindumų dėl failų formatų. Pavyzdžiui, „Tekla Structures“ laiptų elementai gali tapti dėžėmis, angos gali išnykti, apvalūs elementai tapti kvadratiniais. Duomenis perkeliant iš „Allplan“ į „Scia“ pastebima, kad perkėlimas užtrunka ilgą laikotarpį (kai importuojamos apvalios sienos modelis gali krauti valandas) (Kovacic et al. 2013).

BIM duomenų mainai atsiranda tuomet, kai BIM dalyviai eksportuoja ar importuoja duomenis, kurie nėra nei konstrukciniai nei informatyvūs. Tipinis pavyzdys – duomenų gavimnas, kai 2D CAD brėžiniai yra gaunami iš 3D modelio, tokiu būdu prarandant geometriją ir reikšminius duomenis. Statybos projektai pereina per 3 pagrindinius gyvavimo ciklo etapus – projektavimą, statybą, eksploataciją (priežiūrą) (Succar 2009). Organizacinė darbo grupė turėtų nustatyti standartinę informacijos keitimosi modelį naudojant BIM. Komandoje nusprendžiama, kokia informacija, duomenys bus reikalingi konkrečiam projekto dalyviui jo darbo metu, paskiriamas asmuo, kuris atsakingas už informacijos generavimą, jos pateikimą reikiamu formatu. Kai informacijos poreikis yra paskirstomas, naudojantis BIM įgyvendinimo planu nesudėtinga kontroliuoti, kad reikiami duomenys būtų generuojami ir pasiekti

organizaciją (statybos dalyvį), kuriai tuo metu ji reikalinga (Messner *et al.* 2011).

Užbaigus pastato statybas projekto komanda perduoda įgyvendintą BIM projektą ir jo duomenis klientui bei įrenginių valdymo komandai (jei tokia buvo). Pradinėje planavimo stadijoje buvo numatyta, kokia informacija bus reikalinga statytojui. Kai kurie klientai neturi galimybės perimti BIM projekto ir pilnavertiškai juo naudotis. Todėl jiems numatomas tradicinis projekto informacijos pateikimas 2D forma. Tai įvairūs brėžiniai, aiškinamieji raštai, eksploataavimo ir techninės priežiūros vadovai, saugaus darbo ir sveikatos dokumentai bei visa kita su projektu susijusi techninė informacija. BIM aplinkoje ši informacija yra įdiegta ir pasiekama kaip modelio ir duomenų rinkiniai. Jeigu statytojas turi galimybę naudotis BIM sistema, tada modelis importuojamas į jo programinę įrangą. Eksploatuojant pastatus ši informacija gali būti įdiegta į portabilius kompiuterinius įrenginius ir vaikstant po pastatą iš modelio galima gauti visą reikiamą informaciją. Be to, atsiranda galimybė papildyti BIM papildoma informacija ar komentarais (Blackwell 2014).

1.3. BIM technologijų diegimo etapai projektavimo įmonėje

Svarbu paminėti, kad sėkmingas BIM technologijų integravimas turėtų prasidėti aukštojoje mokykloje studijų metu. Tokiu būdu, vartotojas turėtų reikiamus įgūdžius, išmanymą, būtų nebereikalingi pradiniai BIM programų mokymai. Pradinis diegimo etapas yra sėkmingo BIM technologijų naudojimo pagrindas.

Norint diegti projektavimo įmonėse BIM būtini pokyčiai įmonės socialinėje, technologinėje ir kultūrinės aplinkos srityse (Reizgevičiūtė, Reizgevičius 2014). Naujų technologijų diegimas reikalauja įmonės darbinės veiklos pokyčių, iškeliama nauji tikslai, apmokomi darbuotojai, numatomi nauji projektavimo veiklos būdai, darbų ir atsakomybės pasiskirstymas. Kadangi numatomos naujos išlaidos ne tik naujai programinei įrangai, bet ir darbuotojų apmokymui, būtina įvertinti BIM taikymo naudą ir atsipirkimą iš anksto. Būtina įvertinti laiką, reikalingą įmonės darbuotojams įsisavinti naujus BIM projektavimo įgūdžius (mokymasis valdyti pastato informacinį modelį, statinio analitinių skaičiavimų atlikimas, darbo brėžinių generavimas). Be to, naudojant BIM programas svarbus darbas komandoje, užduočių pasiskirstymas, noras dalintis dokumentais, bendradarbių pagalba.

Yra išskiriami 5 BIM taikymo etapai (1.4 paveikslas, BIM taikymas 2014).

1 etapas – komandos formavimas. Šio etapo metu atliekama detali esamos veiklos struktūrinės schemos analizė bei nustatomi efektyvumo didinimo tikslai,

kurių pasiekti tikimasi taikant BIM sistemą. Taip pat atliekama įmonės turimų darbo priemonių analizė ir reikalingų kompetencijų paieška.

2 etapas – BIM taikymo vizijos ir tikslų nustatymas: identifikuojami projekto efektyvaus vykdymo tikslai ir uždaviniai, kuriama naujų veiklos procesų vykdymo strategija, pasirenkama, kokiomis technologijomis bus įgyvendinamas BIM projektas, aprašomi taupaus projektavimo procesai ir procedūros, BIM diegimo planas.

3 etapas – modeliavimas: atliekami bandomieji BIM modeliai su skirtingais projektais – sukuriamas tikslus trimatis objekto BIM modelis. Kuriant bandomąjį projektą svarbu, kad jis atitiktų pavyzdinį įmonės projektą. Naujas projektas kuriamas vėliau, kitame BIM taikymo cikle, kai įmonės darbuotojai jau turi BIM taikymo įgūdžių, gali panaudoti savo patirtį naujam projektui kurti.

4 etapas – BIM modelio taikymas: pagal modelio duomenis nustatomi visų projekte esančių elementų kiekiai, atliekamas eksploatacijos sąnaudų įvertinimas, iš BIM modelio automatizuotai sudaroma viso projekto ar atskirų jo dalių sąmata, 3D modelio duomenys panaudojami statybos darbų technologiniam projektui paruošti ir statybos darbams organizuoti.

5 etapas – grįžtamasis ryšys: projekto peržiūra, patikrinimas, įgytos patirties skleidimas vykdant kitą projektą: projekto realizavimas.



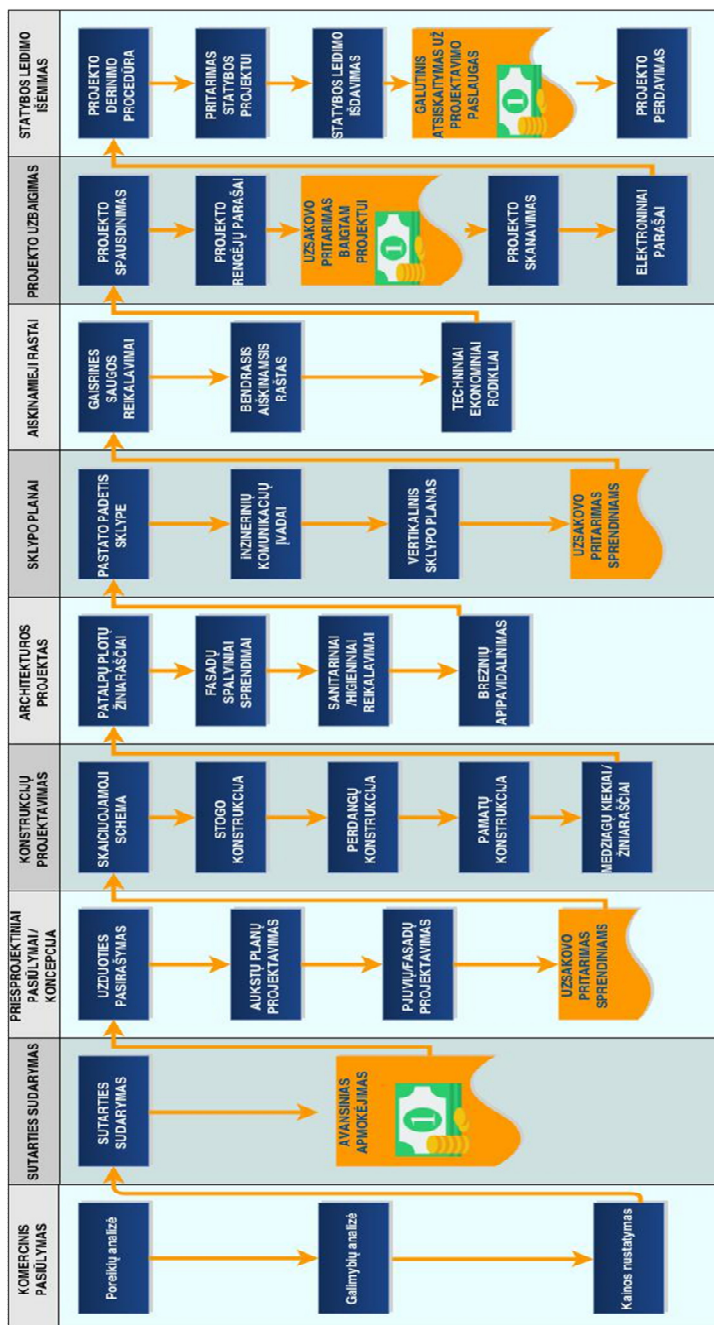
1.4 pav. BIM taikymo etapai (BIM taikymas 2014)
Fig. 1.4. BIM application stages (BIM taikymas 2014)

Pradėjus naudoti BIM įmonėje lengviau surandamas kompromisas pateikiant argumentuotus sprendimus, darbas įmonėje greitesnis, efektyvesnis. Norint sėkmingai įgyvendinti pastato informacinį modelį, projekto komanda turėtų sudaryti detalų ir išsamų planą. Gerai paruoštas vykdymo planas užtikrins, kad visi proceso dalyviai aiškiai suvoks galimybes ir atsakomybes, susijusias su jų darbu, bus nesudėtinga dirbti su projektu skirtingų sričių atstovams (Messner *et al.* 2011).

Be to, renkantis naudoti pastato informacinį modelį būtina įvertinti, kad naudojant BIM pradiniam projektavimo etape reikia daugiau darbo išteklių (iki visapusiško 3D modelio sukūrimo) nei įprastame 2D projektavime. Rengiant atskiras dalis, tokias kaip pjūviai, fasadai, specialiosios dalys (šildymas, vėdinimas, elektra), įvyksta lūžis darbo jėgos poreikyje (Wong *et al.* 2012). Būtina įvertinti, jog BIM programos yra 5–10 kartų brangesnės už įprastas 2D programas, jose ryškus informacijos perteklius, BIM programų failai sudėtingi ir dideli, reikalingas kvalifikuotų darbuotojų parengimas, nėra vieningo standarto visoms programoms – sukūrus pastato informacinį modelį maža tikimybė, kad bus galima pilnavertiškai naudotis kita programa.

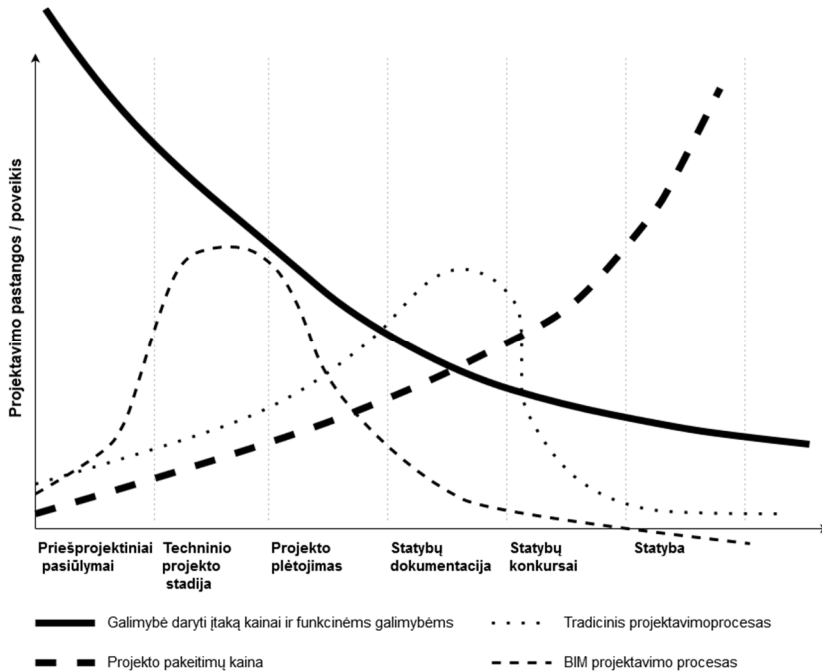
Dažniausiai pastatų projektavimas Lietuvoje suskirstomas tokiais etapais (etapai pateikti 1.5 paveiksle):

1. Komercinis pasiūlymas (Jūsų poreikių analizė, galimybių analizė, nustatoma kaina).
2. Sudaroma sutartis.
3. Projektiniai pasiūlymai (pasirašoma projektavimo užduotis, projektuojami aukštų planai, pjūviai, fasadai).
4. Konstrukcijų projektavimas (skaičiuojamos stogo, perdangų, pamatų ir kt. konstrukcijos, sudaromi medžiagų kiekiai žiniaraščiai).
5. Architektūrinės dalies projektavimas (fasadų spalviniai sprendimai, patalpų plotų skaičiavimai, sanitariniai ir higieniniai reikalavimai, apipavidalinami brėžiniai).
6. Sklypo planų rengimas (pastatas orientuojamas pagal pasaulio šalis, numatomos inžinerinės komunikacijos, vertikalinis sklypo planas).
7. Aiškinamojo rašto rengimas (gaisrinės saugos reikalavimai Jūsų pastatui, techniniai ekonominiai reikalavimai, bendras aiškinamasis raštas).
8. Projekto užbaigimas.
9. Statybos leidimo išėmimo procedūra (projekto derinimo procedūra, gavus pritarimą projektui, išduodamas statybos leidimas).
10. Projekto perdavimas užsakovams.



1.5 pav. Projektavimo etapai imonėje (sudaryta autoriaus)
Fig. 1.5. Design company design phases (author created)

Blackwell detaliau nagrinėja priklausomybę tarp vykdomų pakeitimų ir jų kainos. Autoriaus teigimu, pereinamasis taškas yra baigus strategijos (priešprojektinių pasiūlymų) etapą. Užsakovo dėmesys turėtų nuolat būti nukreiptas į šią priklausomybę siekiant išnaudoti BIM projektavimo privalumus. Projektavimo pradžioje turėtų būti skiriamas didžiulis dėmesys suprasti ir nustatyti kliento poreikius, tikslus, projekto užbaigimo reikalavimus. Svarbu, kad projekto vadovas identifikuotų užsakovo poreikius ir tikslus kruopščiai ir taktiškai siekdamas išvengti potencialių pakeitimų projekto eigoje. Dauguma užsakovų nėra susipažinę su projektavimo procesais, todėl nesupranta projekto vizijos, tikslų nustatymo pačioje pradžioje, todėl projektavimo užduotis turi pilnai atspindėti reikalavimus projektui nuo pradinio etapo. Projektas turi būti parengtas itin detalai, kad nereiktų keisti medžiagų, konstrukcijų ir kt. Projekto vadovas supažindina užsakovą su potencialiomis kainos bei darbų trukmės padidėjimo grėsmėmis keičiant projektą vėlesniuose etapuose (Blackwell 2014).



1.6 pav. Laiko – pastangų pasiskirstymo tarp tradicinio 2D ir BIM projektavimo (pagal MacLeamy 2004)

Fig. 1.6. The time – effort distribution between BIM – enabled and traditional AEC processes (adapted from MacLeamy 2004)

1.6 paveiksle parodyta laiko – pastangų pasiskirstymo kreivė, apimanti 4 komponentus (1) kreivė rodo, gebėjimą daryti poveikį išlaidoms ir funkciniam pajėgumui projekto eigoje; (2) kreivė parodo projekto pakeitimų išlaidas; (3) kreivė, rodo projektavimo pastangų paskirstymą esant tradiciniams AEC procesams; (4) kreivė parodo projektavimo pastangų paskirstymą esant BIM AEC procesams. Tradiciniai procesai (projektavimas – konkursas – statyba) apima atskirų dalyvių pastangas (projektuotojai, rangovai daugiausia investuoja į statybinės dokumentacijos rengimą ir valdymą, 3 kreivė), o BIM apimantys procesai reikalauja daugiau pastangų (reikalingas ankstyvas bendradarbiavimas ir atviras informacijos keitimasis) iš visos projekto komandos visų projektavimo etapų metu (4 kreivė) (MacLeamy 2004). Ši MacLeamy kreivė dažnai tyrinėjama užsienio mokslininkų kaip iliustracija apie BIM suteikiamą naudą statybos projektams (Lu *et al.* 2013). Savininkai pateikdami reikiamą informaciją ir visapusiškai bendradarbiaudami pradinėje projekto stadijoje gali tikėtis norimų rezultatų: greito, veiksmingo, efektyvaus ir ekonomiškai pagrįsto pastato projekto.

1.2 lentelė. BIM panaudojimas pastato gyvavimo ciklui (chronologine tvarka nuo planavimo iki eksploatavimo) (pagal Messner *et al.* 2011)

Table 1.2. BIM Uses throughout a Building Lifecycle (organized in chronological order from planning to operation) (pagal Messner *et al.* 2011)

PLANAVIMAS	PROJEKTAVIMAS	STATYBA	EKSPLOATAVIMAS
Esamų sąlygų modeliavimas			
Kainos įvertinimas			
Etapų planavimas			
Programavimas			
Aplinkos analizė			
	Projekto atsiliepimai		
	Projekto autorystė		
	Energijos analizė		
	Konstrukcijų skaičiavimas ir analizė		
	Apšvietimo analizė		
	Mechaniniai skaičiavimai ir analizė		
	Kiti inžineriniai skaičiavimai		
	LEED įvertinimas		
	Atitikimas normoms		
		3D suderinimas ir parengimas	

1.2 lentelės pabaiga

PLANAVIMAS	PROJEKTAVIMAS	STATYBA	EKSPLOATAVIMAS
		Statybos aikštelės / aplinkos planavimas	
		Konstrukcijų projektavimas ir planavimas	
		Skaitmeninė gamyba	
		3D kontrolė ir planavimas	
			Modelio įrašymas
			Priežiūra ir planavimas
			Pastato sistemų analizė
			Turto valdymas
			Erdvės valdymas
			Nelaimių planavimas

Apsisprendus įmonėje diegti pastato informacinio modelio technologijas, pirmasis žingsnis kurti projekto įgyvendinimo planą, sudaryti BIM projekto grupę. Kuriant BIM projekto įgyvendinimo planą reikia nustatyti BIM panaudojimo galimybes atsižvelgiant į nustatytus projekto tikslus (1.2 lentelė). Esamas iššūkis – nustatyti tinkamiausią BIM panaudojimą numatytam projektui pagal jo charakteristikas, dalyvių tikslus ir galimybes atsižvelgiant į riziką (Messner *et al.* 2011).

1.3 lentelėje pateikta, kokie tikslai galėtų būti pasirinkus BIM projektavimo modelį. Taip pat pateikiamas tikslų apibūdinimas ir potencialus BIM panaudojimas.

Paskutinis iš keturių BIM projekto vykdymo planavimo procedūros žingsnių nustatyti ir apibūdinti projekto infrastruktūrą, reikalingą efektyviai įgyvendinti BIM. 14 kategorijų apsprendžia sėkmingo BIM įgyvendinimo procesą (1.4 lentelė, BIM Project Execution Planning Guide 2011).

Vienas iš BIM projektavimo privalumų – programinės įrangos pakartotinis panaudojimas yra svarbus reikalavimas programinės įrangos inžinerijoje. Ankstyvas pakartotinis panaudojimas tokių komponentų kaip abstraktūs duomenų tipai, modeliu paremtas programavimas, komponentais pagrįstas įrangos plėtojimas, daugkartinis bibliotekų panaudojimas, vertinami kaip nedidelio masto pakartotinis panaudojimas (Frakes 2005). Iš praktikos yra žinoma, kad dauguma užduočių gali būti atliktos greičiau, turint didesnę patirtį. Labiau patyręs vartotojas, kuris dirbo su panašiomis užduotimis ilgą laiką, galės

kurti produktus greičiau. Tai taikoma ir BIM projektavimo įmonėms. Galima teigti, kad kuo dažniau panaši užduotis atliekama, tuo mažiau laiko reikia kiekvienam vėlesniam komandos pakartojimui (Tuzun, Tekinerdogan 2015). Šis efektyvumo didinimas iš prigimties remiasi mokymosi poveikiu kuo dažniau kartojamos BIM užduotys, tuo profesionalėsnis tampa jos vartotojas.

1.3 lentelė. BIM tikslai įgyvendinant pavyzdinį laboratorijos pastato projektą (pagal Messner *et al.* 2011)

Table 1.3. Sample BIM Goals for a Laboratory Building Project (pagal Messner *et al.* 2011)

Pirmenybė (1–3)	Tikslo apibūdinimas	Potencialus BIM panaudojimas
1 – svarbiausias, 3 – mažiausiai svarbus		
2	Padidinti srities produktyvumą	Projekto peržiūra, 3D koordinavimas
3	Padidinti projektavimo efektyvumą	Projekto autorystė, peržiūra, 3D koordinavimas
1	Tikslus 3D modelio įrašas eksploataavimo komandai	Įrašytas modelis, 3D koordinavimas
1	Pagerinti darnios statybos tikslus	Inžinerinės analizės, LEED apskaičiavimas
2	Sekti statybos proceso progresą	4D modeliavimas
1	Peržiūrėti projektavimo procesą	Projekto peržiūra
1	Greitas kainos įvertinimas esant projekto pakeitimams	Kainos apskaičiavimas
2	Srities konfliktų ir nesutapimų eliminavimas	3D koordinavimas

Įsidiegus BIM sėkmingam jo naudojimui Pensilvanijos universiteto BIM standarte rekomenduojama (BIM Project Execution Planning Guide 2011):

1. Projekto komandai reikalingas BIM „čempionas / lyderis“. Projektui naudojant BIM projekto įgyvendinimo planą norint, kad jis būtų sėkmingai įvykdytas reikalingas bent vienas asmuo, siekiantis laikytis BIM plano. Toks BIM „lyderis“ dažniausiai skiria daug laiko susipažinti su projektu, išmano jį geriau nei kiti.

2. Viso proceso metu būtinas savininko įsitraukimas. Savininko įsitraukimas padidina BIM diegimo svarbą.

1.4 lentelė. BIM projekto įgyvendinimo plano kategorijos (pagal Messner *et al.* 2011)
Table 1.4. BIM Project Execution Plan Categories (pagal Messner *et al.* 2011)

BIM PROJEKTO ĮGYVENDINIMO PLANAS
Kategorijos
BIM projekto įgyvendinimo plano peržiūra
Projekto informacija
Pagrindiniai projekto kontaktai
Projekto tikslai / BIM panaudojimas
Organizacinės funkcijos / personalas
BIM proceso projektavimas
BIM informacijos mainai
BIM ir įrenginių informacijos reikalavimai
Bendradarbiavimo procedūros
Kokybės kontrolė
Technologinės infrastruktūros poreikiai
Modelio struktūra
Projekto rezultatai
Pristatymo strategija / sutartis

3. Naudojant BIM įgyvendinimo planą labai svarbu, kad tarp projekto dalyvių būtų laisva – atvira aplinka, dalyviai būtų linkę bendradarbiauti. Vykdamas BIM projekto įgyvendinimo planavimo procedūrą remiamasi organizacijoje atliktų projektų patirtimi, informacijos kaitos reikalavimais.

4. Planavimas turi prasidėti nuo pradinės projekto stadijos, kitaip bus reikalingas pakartotinis darbas, duomenų suderinimas tarp dalyvių.

5. BIM planas turi būti priimamas kaip „gyvas“ lankstus dokumentas, kurį reikia nuolat peržiūrėti, reguliariai papildyti. Nerealų manyti, kad projektas visu jo įgyvendinimo laikotarpiu nekis nuo pradinio sumanymo ankstyvoje planavimo stadijoje.

6. Būtina skirti pakankamai laiko planavimui, darbas šioje srityje neturėtų būti nuvertintas ir atsakingiems asmenims turėtų būti paskirta tam tikra projekto biudžeto dalis.

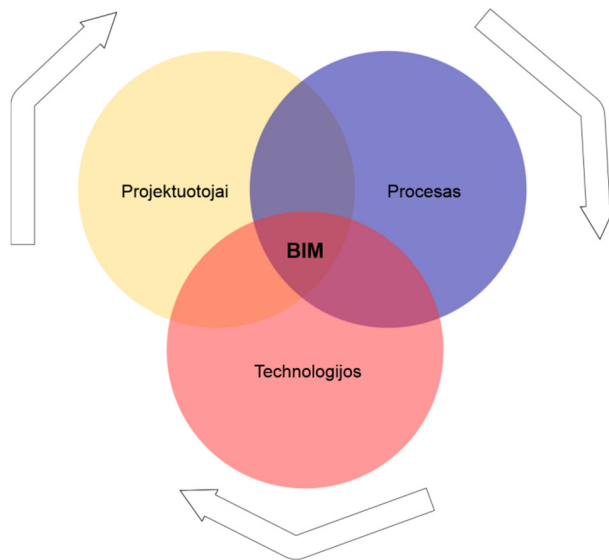
7. BIM projekto įgyvendinimo plano parengimas prieš projekto pradžią gali stipriai sumažinti projekto planavimo laiką.

8. BIM projekto įgyvendinimo planavimo procedūra gali būti pritaikyta daugeliui poreikių ir situacijų.

Autodesk konsultacinis partneris „BIM Solutions“ (2015) įgyvendino ir prižiūrėjo BIM technologijų diegimą didžiausiose Kanados AEC kompanijos ir padėjo joms pasiekti jų tikslų pasinaudojus BIM ir integruotu projektų

pristatymu (Integrated Project Delivery). Kompanija vykde BIM diegimą tokiose Kanados firmose kaip „Stantec“, „HOK Canada“, „IBI Group“, „NORR Limited“ ir kt.

„BIMsolutions“ (2015) teigimu, perėjimas prie BIM platformos yra ne tik technologijos ar proceso kaita, bet ir pokyčiai darbuotojų darbo kultūroje (1.7 paveikslas). Sėkmingas perėjimas prie BIM programų reikalauja atidaus planavimo, tinkamų įrankių parinkimo, technologijos įgyvendinimo vadybos strategijos, programinės įrangos ir visų reikiamų įrankių pirkimo/atnaujinimo (darbo vietos, kompiuterių ar jų parametrų gerinimo). Be to, būtinas darbuotojų psichologinis paruošimas ateinantiems pokyčiams.



1.7 pav. Kontroliuojami sričių pokyčiai diegiant BIM („BIMsolutions“ 2015)

Fig. 1.7. Changes transitioning to BIM („BIMsolutions“ 2015)

Teisingai planuojant ir iš anksto pasiruošus BIM diegimas gali būti greitas ir nesudėtingas. Teisingas planavimas priklauso nuo skirtingos įmonės poreikių, dydžio, funkcionavimo ir tikslų. Skirtingoms kompanijoms BIM diegimas negali būti vienodas, kadangi kiekviena projektavimo įmonė yra išskirtinė, kiekvienas architektas turi unikalią, kitokią savo viziją. „BIMsolutions“ (2015) išskiria 11-os etapų BIM įgyvendinimo strategiją:

1. Organizacijos projektavimo procesų, standartų, pasiruošimo BIM diegimui auditas.
2. Valdymo konsultavimas, tikslų nustatymas, planavimas.
3. Kainos ir investicijų grįžimo (ROI) įvertinimas.

4. Turinio, standartų ir gerosios patirties vystymas.
5. Tipinės vidinės ir išorinės darbo eigos plėtojimas.
6. BIM valdymo mentorystė ir plėtra.
7. Specializuoto (kaip tik laiku) projekto mokymai.
8. Šablonų kūrimas.
9. Tolimesnių BIM / „Revit“ projektų vykdymo strategijos.
10. Ateities projektų pasirinkimo ir plėtros strategijos.
11. BIM panaudojimo galimybių praplėtimas (už „Revit“ ribų).

Sėkmingas BIM įgyvendinimas yra naudingas suinteresuotosioms šalims pastato gyvavimo laikotarpiu (Son *et al.* 2015). Atliekami vartotojų naudojančių informacines technologijas priėmimo tyrimai – TAM (Technology acceptance model). Panaudojus TAM siekiama išsiaiškinti pritaikytos technologijos vartotojų elgesį. TAM taip pat naudojamas tirti statybos srities vartotojų technologijos pritaikymas. TAM postuluoja, kad vartotojo elgsenos ketinimą naudoti naują technologiją lemia du įsitikinimai: naudingumo suvokimas (PU – perceived usefulness) ir naudojimo paprastumas (PEOU – perceived ease of use).

1.4. Keturių dimensijų modelio efektyvumo vertinimo teorinis aspektas

Statybos pramonė reikalauja labai daug informacijos, dažnai ji apibūdinama, kaip sunkiai prisitaikanti naujausiomis informacinėmis technologijomis. Dalytis informacija, ją tinkamai modeliuoti tampa vis svarbesnis uždavinys įgyvendinant statybos projektus nuo idėjos iki raktų. Informacijos dalijimasis tarp įvairių sričių specialistų padeda geriau išspręsti kilusias problemas ir tobulinti skirtingus įgūdžius. Išgauti informaciją iš brėžinių – daug laiko užimantis ir sudėtingas procesas. 4D projektavimas gali padėti padidinti komunikacijos efektyvumą ir sumažinti interpretavimo galimybę visiems suinteresuotiems statybos projekto dalyviams. Pastato ar statinio vizualizacija – tai procesas, kuris pateikia informaciją ir leidžia ją veiksmingiau įsisavinti. 4D CAD gali padėti išspręsti šiuos uždavinius: nustatyti veiksmingas strategijas, sutrumpinti projekto įgyvendinimo trukmę, vertinti darbo kokybę, sudaryti darbų atlikimo grafikus.

Pasaulyje 4D samprata žinoma nuo 1995 metų. Tuo metu Jungtinis inžinerinės materialinės bazės centras (CIFE) Stenfordo universitete, JAV, formaliai pirmą kartą panaudojo 4D CAD koncepciją. Ši tema aktuali ir analizuota daugelio autorių. Collier *et al.* (1995) pristatė keturių dimensijų modelio taikymo projektavime sampratą. Beveik po dešimties metų Wang *et al.* (2004) tyrė 4D taikymą dinaminiam valdymui ir išteklių panaudojimui statybos

planavimo procese. Maa *et al.* (2005) analizavo 4D taikymą dinaminiam statybų aikštelės planavimui ir statybų vadybos procesui. Jongeling, Olofsson (2007) tyrė darbo srautų planavimo galimybę, pasitelkiant dvi priemones – darbo proceso planavimą statybos aikštelėje ir 4D CAD modelį. Tantisevi, Akinci (2006) gilinosi į automatizuotas darbo vietos reikalavimų generavimą, siekiant išvengti konfliktų. Russell *et al.* (2008) pristatė 4D CAD panaudojimo galimybes daugiaaukščių pastatų vizualizacijoje ir linijiniame planavime. Mahalingam *et al.* (2009) vertino 4D CAD modelio pritaikomumą pastatų projektavime. Turkan *et al.* (2011) labiau domino automatizuotas statybų proceso stebėjimas, taikant 4D planavimą ir 3D projektavimo technologijas.

4D supratimas žinomas, tobulinamas ir naudojamas visame statybos procese ar siaurose jo srityse beveik du dešimtmečius. Intensyviausiai 4D metodu domimasi augančių ekonomikų šalyse. Tai galima paaiškinti 4D nauda projektuojant ir statant daugiaaukščius pastatus. Remiantis (Council on Tall Buildings and Urban Habitat) „Auštybinių pastatų ir urbanizuotų teritorijų tarybos JAV“ duomenimis, iš 20 aukščiausių pastatų net 11 yra Kinijoje, tik 4 JAV, 2 Malaizijoje, 1 Taivanyje, 1 Kuveite ir pats aukščiausias pastatas – Junginiuose Arabų Emiratuose. 2000 metais 20 aukščiausiųjų pastatų vidurkis buvo 375 m, 2010 metais šis vidurkis jau siekia 439 metrus. Planuojama, kad 2020 metais dvidešimties aukščiausiųjų pastatų vidurkis bus 598 metrai. Planuojama, kad po 8 metų aukščiausiųjų pastatų dvidešimtuke bus devyniolika naujų pastatų: 9 Kinijoje, 5 Pietų Korėjoje, 1 JAV, 2 Saudo Arabijoje, 1 Indonezijoje, 1 Malaizijoje. Pateiktos aukštybinių pastatų statybų prognozės rodo inovatyvių technologijų poreikio aktualumą pasaulyje.

4D modulio tema Lietuvoje menkai nagrinėta, o 4D CAD praktinėje veikloje beveik netaikomas. 4D efektyvumo vertinimas yra praktiškai nenagrinėta sritis Lietuvos statybos pramonėje.

Gauti tyrimo rezultatai parodo, kad 4D statybos planavimas glaudžiai susijęs su laiku, taip pat ir statybos vieta, teritorija. Pirmosios kartos 4D priemonės modeliuoja filmą ar animaciją taip, kad visi su statyba susiję dalyviai galėtų peržiūrėti 4D vizualizacijas ir realistiškiau suprasti statybos planus. Statybos vadybininkai gali praktikuoti lyginamąją analizę tarp atskirų statybos darbų ir gauti optimaliausią variantą. Pilnam 4D technologijų galimybių išnaudojimui dabartiniai tyrėjai bando išplėsti 4D koncepciją, apibrėždami kitus statybos aspektus, būtent kainos įvertinimą ar resursų valdymą. Naujos kartos 4D įrankiai tapo viena idėja architektūrai, inžinerijai ir statybai praktiškai patikrinamų priemonių kompiuterizuotos statybos aplinkoje. Nustatyta, kad 4D taikymas statybos procesuose leidžia pasiekti tiek alokacinį, tiek technologinį efektyvumą. 4D naudojimas padeda pasiekti vidutiniškai 7 proc. didesnę statybos objekto išbaigtumą nei naudojant 2D modelį (esant vienodam statybos laiko limitui). Be to, 4D reikalauja 12 proc. retesnės prieigos prie statybos projekto

informacijos nei naudojant 2D modelį. Keturių dimensijų modelis klaidų tikimybę statybos procese sumažina 40 proc. Nustatyta, kad 4D modelio naudojimas padeda vidutiniškai 7 proc. sutrumpinti statybos proceso trukmę, vidutiniškai 14 proc. pagerina statybos proceso suvokimą (visose statybos proceso grandyse), vidutiniškai 8 proc. sumažina laiko sąnaudas projekto brėžinių skaitymui ir 67 proc. sumažina laiko sąnaudas statybos klaidų taisymui, lyginat su dviejų dimensijų modelio naudojimu.

1.4.1. Keturių dimensijų modelio samprata

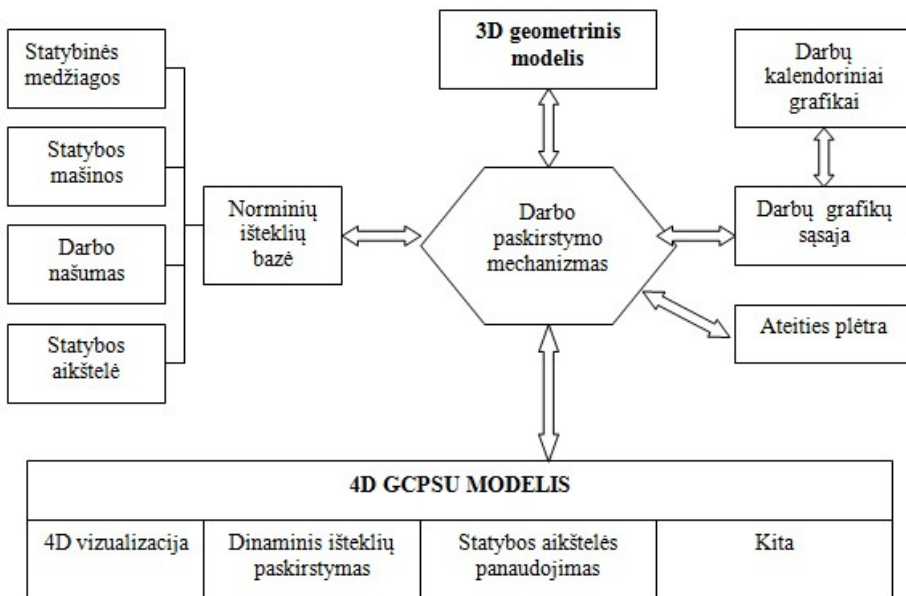
Nuoseklus statybos planavimas ir efektyvus statybvietės panaudojimas yra svarbus veiksnys sklypo planavimui ir pastatų statybai. Šiandienos sudėtingus projektus planuoja didelis skaičius projektų dalyvių ir kontroliuojančiųjų asmenų. Pasak Jongeling, Olofsson (2007), analizavusių statybos praktiką Švedijoje, tik 15–20 proc. statybos proceso laiko sudaro tiesioginis darbas statybos aikštelėje. Apie 45 proc. darbo laiko skiriama netiesioginiam darbui: pasiruošiamiesiems darbams, instruktažui ir apmokymams, apsirūpinimui statybinėmis medžiagomis. Likę 35 proc. laiko skiriami klaidų taisymui, prastovoms, delsimui – neefektyvioms laiko sąnaudoms. Per pastaruosius 20 metų kompiuterinės technologijos sparčiai pažengė pirmyn ir suteikė galimybę naudoti 3D CAD modelį statybos informacijai valdyti, neefektyviam laiko panaudojimui mažinti. Be to, 3D aplinkoje projektuotojai, dizaineriai, inžinieriai gali žiūrėti realius statybos vaizdus. Nepaisant to, 3D CAD gali suteikti dar daugiau galimybių statyboms vykdyti ir kontroliuojamiems veiksams atlikti. Šiandieną yra galimybė eksportuoti 3D brėžinį į kompiuterinę programą, kuri padeda statybos vadybininkui planuoti darbus ir neužgriozdinti statybos medžiagomis statybos aikštelės, tokiu būdu gelbėja logistikos srityje. Taigi, 4D statybos planavimas glaudžiai susijęs su laiku, taip pat ir su statybos vieta, teritorija. Pirmosios kartos 4D priemonės modeliuoja filmą ar animaciją taip, kad visi susiję su statyba dalyviai galėtų peržiūrėti 4D vizualizacijas ir realistiškiau suprasti statybos planus. Statybos vadybininkai gali praktikuoti atskirų statybos darbų lyginamąją analizę ir gauti optimalų variantą. Kad visiškai būtų išnaudotos 4D technologijų galimybės, dabartiniai tyrėjai bando išplėsti 4D koncepciją, apibrėždami kitus statybos aspektus, būtent: kainos įvertinimą ar resursų valdymą. Naujos kartos 4D įrankiai tapo viena idėja architektūrai, inžinerijai ir statybai praktiškai patikrinamų priemonių kompiuterizuotos statybos aplinkoje.

BIM technologijos apima ne tik 3D ir 4D projektavimą, pasaulyje sparčiai pradedamas naudoti 5D, 6D, 7D projektavimas. 5D apima modelio kiekybinės išraiškos modeliavimą, išlaidas. 5D dažniausiai naudojamas planuojamų veiksmų biudžeto ir sąnaudų analizei. 5D technologijų panaudojimas leidžia

sudaryti tikslesnę ir labiau nuspėjamą sąmatą, numatyti taikymo sritis, reikalingus medžiagų, įrangos, darbo jėgos pokyčius. Dėka 5D įmanoma suplanuoti pinigų srautus labai tiksliai, pavyzdžiui, atsiranda galimybė suplanuoti darbus kiekvienam mėnesiui už vienodą aktuojamą sumą. 5D BIM simuliacinių modelių integravimas sukuria galimybę vykdyti efektyvesnę, ekonomiškesnę darnios statybos plėtrą (Wang *et al.* 2014). 6D dėka atsiranda galimybė atlikti energijos sunaudojimo analizės. Panaudojant 6D BIM technologiją gaunamas išsamesnis ir tikslesnis energijos sąnaudų vertinimas, yra galimybė patobulinti procesus remiantis didelio energinio efektyvumo pastatų pavyzdžiais. 6D BIM projektavimas padeda sumažinti bendrą pastatų suvartojamos energijos kiekį. Naujausia tendencija siekiant įgyvendinti viso pastato gyvavimo ciklo modeliavimą (angl. – BLM – *Building Lifecycle Management*) – 7D modeliavimas. Jis remiasi pastatų ūkio valdymo koncepcija. Ši pastato valdymo koncepcija apima visą gyvavimo ciklą nuo pastato koncepcijos iki griovimo (Ustinovičius *et al.* 2015). 7D naudojama vadybininkų visu pastato gyvavimo laikotarpiu jo naudojimui ir eksploatacijai. Septintoji dimensija suteikia vartotojams galimybę gauti atitinkamus pastato duomenis, pavyzdžiui pastato sandaros būklę, atitinkamas specifikacijas, techninės priežiūros ir eksploataavimo instrukcijas, garantinius duomenis ir kt. 7D BIM panaudojimas palengvina pastato reikiamų komponentų / medžiagų / dalių pakeitimą, optimizuoja pastato gyvavimo ciklo valdymą bėgant laikui. 7D optimizuoja turto (šiuo atveju pastatų) valdymą nuo projektavimo iki griovimo stadijos.

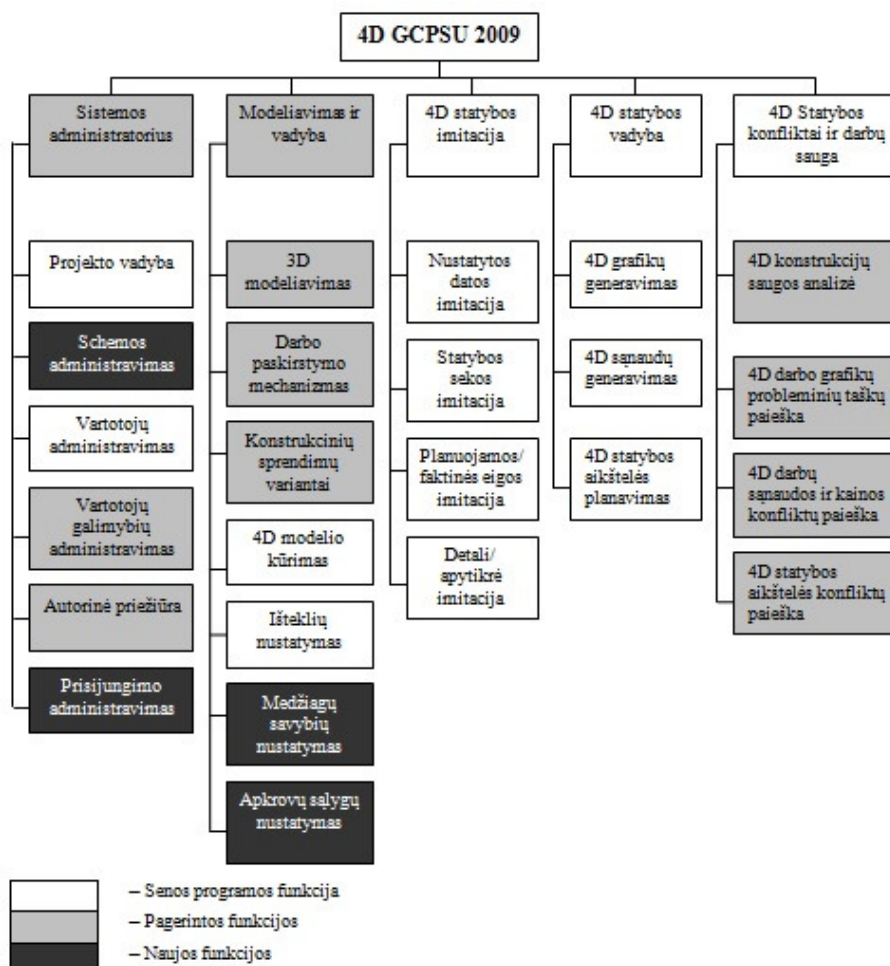
2005 metais Kinijos mokslininkai Chua *et al.* į statybos sektorių įvedė naujas frazes: 4D SMM (four – dimensional site management model) – keturių dimensijų statybos aikštelės planavimo modelis ir 4D GCPSU (graphics for construction and site utilization, 1.8 paveikslas) grafinės priemonės statyboje ir statybos aikštelės panaudojimui.

Šis modelis buvo kurtas pasitelkiant Autodesk kompanijos programą „AutoCad“ ir „ObjectARX“ planavimo programinį paketą. Tačiau šis modelis nebuvo tinkamai išbaigtas ir 2011 metais Kinijos tyrėjai pasiūlė jau patobulintą jo modelį. Modelio projektavimo tikslas: 1) palaikyti daugelio vartotojų duomenų pasikeitimo galimybėmis ir konfliktų išvengimo principu vientisoje sistemoje; 2) įvertinti statybos procesų konfliktų galimybes, vadybos funkcijas ir konstrukcinės saugos problemas; 3) elementams suteikti medžiagų savybes ir apkrovas veikiančias vietas.



1.8 pav. 4D GCPSU modelis (Chau *et al.* 2005)
Fig. 1.8. Structure of 4D GCPSU (Chau *et al.* 2005)

4D – 2009 GCPSU programos modelį sudaro 5 funkciniai moduliai: 1) sistemos administravimas; 2) informacijos modeliavimas ir valdymas; 3) 4D statybos imitacija; 4) 4D statybos vadyba; 5) 4D statybos konfliktai ir darbų sauga (1.9 paveikslas). Pirmas modulis skirtas projektą administruojančiam personalui. Remdamiesi juo, atsakingi asmenys paskiria užduotis, sudaro prisijungimo galimybes ir nurodo atsakingus asmenis atskiroms projekto dalims. Antras modulis – informacijos modeliavimas ir valdymas skirtas darbui su pačiu pastato erdvinio modeliu, jo pagalba kuriamas modelis, konstrukcijoms priskiriamos apkrovos ir medžiagos, iš kurių jos pagamintos. Trečiame modulyje (4D statybos imitacija) pastato statybai įvedamas laiko faktorius ir imituojamas statybos procesas. Ketvirtas modulis (4D statybos vadyba) skirtas vienam iš pagrindinių šios programos kūrimo tikslų – darbo grafikų ir medžiagų poreikio generavimui ir statybos aikštelės planavimui. Penktas programos modulis (4D statybos konfliktai ir darbų sauga) skirtas konstrukcijų patikimumo ir saugos projektavimui bei probleminių taškų ir konfliktų paieškai.



1.9 pav. 4D GCPSU 2009 modelis (Hu, Zhang 2011)

Fig. 1.9. Structure of 4D GCPSU 2009 (Hu, Zhang 2011)

Ši patobulinta programa turi lengviau valdomą duomenų bazę: Ją sudaro 89 duomenų lentelės, kurias galima suskirstyti į 12 modulių, pavyzdžiui, kalendorinių grafikų valdymo, 3D modelio saugojimo, 3D modelio valdymo, medžiagos ir papildomi mechanizmai, ištekliai, statybos aikštelės išdėstymas, pastolių sistema, apkrovos ir t. t.

Nors Kinijos mokslininkai tebekuria naujas informacines sistemas, skirtas statybai, bet statybos projektavimo pramonei jau užtektinai sukurta daug

projektavimo programų, pritaikytų 4D projekto rengimui: „Bentley“, „Tekla“, „Google – SketchUp“, „Autodesk NavisWorks“ ir „Revit“, „Vico“ ir kt.

1.4.2. 4D efektyvumo teorinis aspektas

Efektyvumas – gamybos išteklių panaudojimo lygis, garantuojantis maksimalų rezultatą. Gamybos išteklių panaudojimo subalansavimu galima siekti alokacinio, technologinio, dinaminio efektyvumo. Alokacinis efektyvumas reiškia, kad turimi ištekliai yra geriausiai paskirstyti didžiausiam naudingumui gamybos, paslaugų teikimo proceso rezultatams gauti. Technologinis efektyvumas – nuostolių nebuvimas, geriausiai naudojant turimus išteklius (Bagdonavičius ir kt., 1999). Laiko veiksnys – vienas iš parametru, vartojamų efektyvumui vertinti – analizuojamas tiek užsienio, tiek lietuvių mokslininkų literatūroje. Pasak Stoškaus, Petukienės (2008), didžiausia problema, su kuria susiduriama šiandien, – laiko problema.

Dawood, Sikka (2008) analizavo 4D modelio teikiamą efektyvumą, atsižvelgdami į laiko veiksnį, kaip į prielaidą efektyvumui didinti. Autoriai tyrimui naudojo „Lego“ konstruktoriaus namo modelį. Eksperimento metu naudojant 2D ir 4D projektavimo brėžinius, buvo vertinami laiko sąnaudų skirtumai, kurie pasiekiami sumažinant klaidų skaičių, informacijos naudojimo intensyvumą, sąnaudas, reikalingas klaidoms ištaisyti.

Eksperimento metu tyrėjai nustatė, kad 4D modelis yra efektyvesnis dėl kelių priežasčių: 4D informacijos pateikimo forma greičiau, geriau suvokiama ir perduodama; 4D visiems statybos proceso dalyviams padeda priimti greitesnius sprendimus, lengviau suvokti loginę statybos procesų seką.

Dawood, Sikka (2008), tirdami 4D efektyvumą, nustatė, kad, esant vienodam laiko limitui, 4D naudojimas leidžia pasiekti vidutiniškai 7 proc. didesnę statybos objekto išbaigtumą nei taikant 2D modelį. Tyrimu taip pat buvo nustatyta, kad 4D modelio informacijos pateikimo forma yra viena iš efektyvumo sąlygų, kadangi informacija suvokiama geriau ir 12 proc. retesnė prieiga prie statybos projekto informacijos nei naudojant 2D modelį. Vienas didžiausių 4D modelio privalumų – klaidų sumažinimas. Nustatyta, kad keturių dimensijų modelis statybos procese klaidų tikimybę sumažina 40 proc., lyginant su dviejų dimensijų modeliu. Tyrėjai nustatė, kad 4D modelis sudaro sąlygas siekti didesnio efektyvumo statybos procese, nes įgalina vidutiniškai 7 proc. sutrumpinti statybos proceso trukmę, vidutiniškai 14 proc. pagerinti statybos proceso suvokimą, vidutiniškai 8 proc. sumažinti laiko sąnaudas projekto brėžinių skaitymui ir 67 proc. sumažinti laiko sąnaudas statybos klaidų taisymui, lyginat su dviejų dimensijų modelio naudojimu.

Apibendrinant galima teigti, kad 4D modelis sudaro sąlygas geriausiai planuoti išteklių poreikį ir organizuoti jų panaudojimą statybos proceso metu.

Efektyvumą didina ir galimybė keturių dimensijų modeliu sumažinti klaidų skaičių ir laiko sąnaudas, reikalingas pasitaikančių klaidų rekonstrukcijai.

1.5. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas

1. Pirmajame skyriuje apibendrinta BIM technologijų samprata pagal užsienio ir Lietuvos mokslininkų darbus. BIM technologijos plačiai nagrinėjamos užsienyje, tačiau Lietuvoje tai pakankamai nauja sritis. Lietuvoje BIM pradėtas naudoti tik 2002 m, o pasaulyje jau nuo 1987 m. Pirmieji taikyti virtualią statybą pradėjo „Graphisoft“ kompanija. BIM metodą ši kompanija įdiegė „ArchiCAD“ grafinėje programoje. Užsienio autoriai pabrėžia pastato informacinio modelio panaudojimo galimybių svarbą statybos pramonėje.
2. Autorių nagrinėjamų BIM technologijų efektyvumas apibūdinamas labai skirtingai. Todėl labai naudinga būtų sukurti 4D projektavimo efektyvumo nustatymo bandymus ar eksperimentus. Eksperimento efektyvumo rezultatai turėtų būti iškart pastebimi. Sunku būtų pasaulyje surasti dviejų pastatų pilotinius projektus, kur vienas būtų suprojektuotas 2D CAD projektavimo programa, o kitas 4D CAD projektavimo programa. Toks pastatų statybos eksperimentas duotų tiksliausių rezultatus, bet užimtų daug laiko. Svarbu nustatyti patį 4D projektavimo efektą: faktinei statybos trukmei, atsirandančių klaidų tikimybei, klaidingai panaudotoms detalėms, prognozuojamų statybų trukmei.
3. Nors BIM technologijų privalumai ir greita mokymosi naujomis projektavimo programomis būtinybė puikiai matoma, svarbu atlikti BIM panaudojimo statybos inžinerijos studijose vertinimo tyrimą ir nustatyti pasirengimo lygį, svarbu įvertinti studentų domėjimąsi BIM technologijomis, jų pasirengimą ir neformalųjį tobulėjimo lygį.
4. BIM statybos produktyvumo nustatymui tinkamiausi yra dangoraižių pastatai, kadangi jų projektavimui ir statybai skiriama daug laiko. Dangoraižių statyboje panaudojamos sudėtingos technologijos ir sprendimai, statybose gali pasitaikyti daug klaidų.
5. BIM diegimo procesas mažai nagrinėtas ir nėra pasiūlytas optimalus jo modelis. Sukuriant BIM diegimo technologijų vertinimo daugiapakopį modelį būtų naudinga įvertinti kiekvieno dalyvio vaidmenį.

6. Investicijų atsiperkamumo skaičiavimuose nėra aiškiai apibrėžti naudojami kintamieji. Be specialių tyrimų ir praktinių žinių būtų sunku nustatyti investicijų atsiperkamumą BIM programų diegimui.
7. Tinkamai neįvertinus BIM investicijų atsiperkamumo rodiklių, neįmanoma palyginti rezultatų su literatūroje skelbiamais tyrimų rezultatais. Programų gamintojų ar užsienio autorių siūlomi BIM technologijų atsiperkamumo rodiklių skaičiavimai gali būti netikslūs ar pernelyg optimistiški.

Atsižvelgiant į apibendrinimus, pastebimas poreikis įvertinti BIM technologijų efektyvumą bei jį pagrįsti skaičiavimais. Suformuluoti disertacijos uždaviniai:

1. Atlikti 4D ir 2D projektavimo eksperimentinius lyginamuosius tyrimus nustatant efektyvumą, didžiausią dėmesį skiriant rezultatų nustatymui: faktinei statybos trukmei, atsirandančių klaidų tikimybei, klaidingai panaudotoms detalėms, prognozuojamų statybų trukmei.
2. Atlikti BIM panaudojimo statybos inžinerijos studijose vertinimo tyrimą ir nustatyti pasirengimo lygį, svarbu įvertinti studentų domėjimąsi BIM technologijomis, jų pasirengimą ir neformalųjį tobulėjimo lygį.
3. Atlikti statybos produktyvumo tyrimą, vertinant 100 aukščiausių dangoraižių ir nustatyti kintamųjų įtaką regresinės analizės metodu. Nustatyti, ar atsiradus BIM technologijoms dangoraižiai pradėti statyti greičiau.
4. Sukurti BIM diegimo technologijų vertinimo daugiapakopį modelį.
5. Sukurti BIM technologijų investicijų atsiperkamumo (ROI) skaičiavimo metodą pritaikytą projektavimo įmonėms. Sukurtajame metode pritaikyti ir apibūdinti rodiklius.
6. Patikrinti sukurtojo „ROI MR“ atsiperkamumo skaičiavimo metodiką nustatant BIM technologijų diegimo projektavimo įmonėje atsiperkamumą. Skaičiavimo rezultatus palyginti su literatūroje skelbtais tyrimų rezultatais.

BIM technologijų efektyvumo vertinimas taikant daugiapakopius sprendimų priėmimo metodus

Antrajame skyriuje pateikiama BIM technologijų daugiapakopio vertinimo samprata. Nagrinėjamas BIM brandos modelis. Pateikiamas autoriaus sukurtas BIM diegimo projektavimo įmonėje suskirstymas į 4 lygių pakopas. Pirmoje pakopoje statybos / projektavimo įmonė įvertinta BIM poreikį ir savo galimybes. Antrojoje pakopoje įvertinami žmogiškieji resursai. Trečiojoje BIM diegimo pakopoje įvertinama programų pasiūla ir jų kaina. Ketvirtosios BIM diegimo pakopos pagrindą sudaro BIM programų atsiperkamumo nustatymas. Skyriuje pateikiamas keturių dimensijų projektavimo modelio efektyvumo vertinimas ir pagrindimas taikant daugiakriterinę analizę. Projektuotojai, užsiimantys ypač sudėtingų objektų statyba, pvz., mega aukštų pastatų, neįsivaizduoja, kiek truktų statyba, jei projektavimui būtų naudojami tik 2D brėžiniai. 4D taikymas statybos procesuose leidžia pasiekti tiek alokacinį, tiek technologinį efektyvumą. Projektuojant pastatus trimatėje erdvėje, negaištama papildomo laiko pjūviams ir fasadams sudaryti. Šiuolaikinės projektavimo programos tai padaro vieno klavišo paspaudimu. Medžiagų kiekiai, darbo jėgos poreikis, mechanizmai įtraukiami į žiniaraščius automatiškai, taip išvengiama klaidų ir neatitikimų

objekto ekonominėje dalyje. Galima stebėti prognozuojamą statybos eigą, pavyzdžiui, kaip statomas objektas atrodys po pusės metų. Mažesnė tikimybė statyboje padaryti klaidų, kurių taisymas didintų laiko ir finansines sąnaudas. Automatinis darbo grafikų sudarymas, įgalina nuosekliai planuoti įmonės darbuotojų pajėgumus, statybas. Šiame disertacijos skyriuje siekiama įvertinti 4D modelio taikymo efektyvumą ir pagrindimą taikant daugiakriterinę analizę. Skyriuje apibūdinama 4D samprata ir taikymas Lietuvoje bei užsienyje, analizuojamas 4D efektyvumas teoriniu aspektu. Taip pat, vertinamas modelio efektyvumas lyginant 4D ir 2D statybos modeliavimo priemones. Atliekamas 4D efektyvumo eksperimentas panaudojant daugiatisksius sprendimo priėmimo metodus: SAW, COPRAS, TOPSIS. Skyriuje aptariamas atliktas studentų požiūrio apie BIM projektavimo įtraukimą į studijų programas tyrimas. Atliekami 100 dangoraižių statybų greičio skaičiavimai pagal pastatų aukščio, aukštų skaičiaus, ploto rodiklius.

Skyriaus tematika paskelbtos keturios publikacijos: Reizgevičius *et al.* 2013a, Reizgevičius *et al.* 2013b, Reizgevičiūtė *et al.* 2013, Reizgevičius *et al.* 2014.

2.1. BIM technologijų projektavimo įmonėje daugiapakopio vertinimo samprata

BIM brandos modelis, sukurtas Verslo ir inovacijų departamento Jungtinėje Karalystėje, nustato kompetencijų lygį. Applecore Designs (2014) nagrinėja BIM brandos lygius: nuo 0 iki 4 lygio. 0 lygyje projektas atliktas ir pateikiamas popieriniu būdu be kompiuterinių projektavimo programų, įskaitant 2D brėžinius. 3 lygyje duomenys yra valdomi jungtiniais BIM modeliais, informacijos struktūra ir jos perdavimo būdai yra standartizuoti ir klasifikuoti. Duomenys taip pat gali apimti statybos eiliškumą, informaciją apie sąnaudas ir galiausiai projekto gyvavimo ciklo informaciją. Šiame lygmenyje visi statybos projekto dalyviai turi prieigą prie projekto informacijos.

BIM brandos modelis apibūdina BIM kompetencijos lygius įvertinant galimybes naudoti bei keisti informaciją tarp statybos dalyvių. Nustatant brandos lygį atsiranda galimybė užtikrinti BIM naudotojų pasiruošimą. Dažnai organizacijos gali teigi, kad veikia 2 lygmenyje, tačiau vis tiek turi vykdomų projektų 1 lygyje (Tulenheim 2015). Autoriaus teigimu, tai normalu, kadangi skirtingos organizacijos vykstosi ir ugdo savo gebėjimus ir kompetencijas skirtingu tempu ir tie pokyčiai yra priklausomi nuo įvairių faktorių.

Didžioji rinkos dalis vis dar dirba pirmame lygyje, o tik pažangiausiose statybos kompanijose jau patiriama nauda 2 lygyje (Porwal, Hewage, 2013).

2.1 lentelė. Brandos lygių apibūdinimas (Kang, Woo 2015)**Table 2.1.** Maturity level definitions (Kang, Woo 2015)

Brandos lygis	Procesas	Modelio informacijos pakartotinio panaudojimo lygis
1 lygis	Be pastato informacinio modeliavimo proceso, darbas vystosi priklausomai nuo projekto aplinkybių	2D CAD arba kompiuterinės grafikos su ribota informacija elektroninių brėžinių keitimasis
2 lygis	Projektavimo procesas apibūdinamas ir naudojamas organizaciniu lygmeniu	Įmonių ar organizacijų naudojamas BIM objektų modeliavimas bet tik alternatyviai planų peržiūrai ar klaidų aptikimui užtikrinant konstrukciškumą
3 lygis	VDC procesas standartizuotas nacionaliniu lygmeniu, procesas yra sukurtas ir pritaikytas pagal kiekvienos organizacijos poreikius	4D / 5D panaudojimas sprendimų priėmimo metu skirtingiems statybos etapams
4 lygis	Remiantis standartizuotu procesu, BIM integruoja ir valdo visą statybos informaciją	BIM informacinis modeliavimas yra naudojamas su pastatų valdymui, techninei priežiūrai įskaitant energijos valdymą ir veiklos gerinimą; rezultatai saugomi VDC veikimo duomenų bazėje.
5 lygis	Sukaupta geriausia praktika, BIM procesai naudojami visam projektui visame statinio gyvavimo cikle nuo idėjos iki nugriovimo	VDC įdiegta nacionaliniu lygiu, investicijų atsiperkamumas ROI yra apskaičiuojamas pagal pagrindinius veiksmingumo rodiklius naudojant VDC duomenų bazę; vertinama informacija reikalinga sprendimų priėmimui

Kang ir Woo (2015) pasiūlė VDC (angl. Virtual Design and Construction – virtualus projektavimas ir statyba) pramonės brandos modelį. Autoriai nustatė VDC sistemos plėtrai turinčius įtakos elementus: sisteminimas, tinkamumas, patikimumas, objektyvumas, efektyvumas, kompensavimo sistema, standartizavimas, ekosistema, nuoseklumas, plėtros galimybės, suderinamumas, praktiškumas, pristatymo sistemos tobulinimas, aiškumas. Pasiūlytas VDC pramonės brandos modelis pagrįstas gairėmis ir sistema, kuri turi pagrindinius komponentus: VDC brandos ir veiklos vertinimo įrankiai, BIM biblioteka, BIM informacijos įslaptinimo sistemos, VDC procesų vykdymo sistemos ir BIM kokybės patvirtinimo sistemos koncepcija.

Morlhon *et al.* (2014) pasiūlė BIM įsisavinimo modelį, paremtą BIM brandos lygiu bendrovėje. Autoriai nagrinėja brandos modelio galimybes įvertindami tokias BIM brandą apibūdinančias kategorijas, kaip duomenų gausa, gyvavimo ciklo peržiūra, funkcijos ir metodai, pokyčių valdymas, verslo

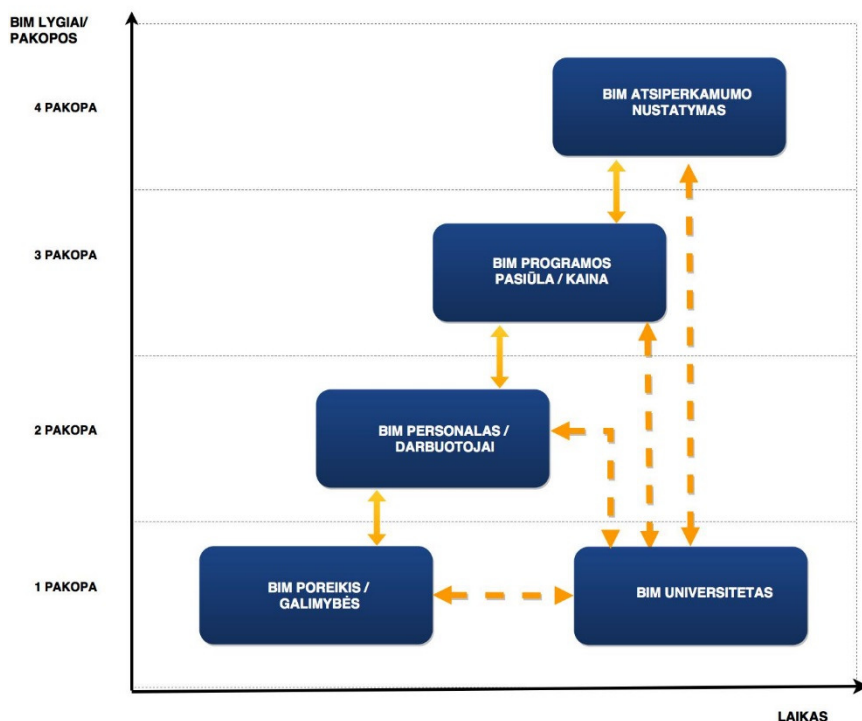
procesai, terminai ir atsakomybės, pritaikymo metodai, grafinė informacija, erdvinės galimybės, informacijos tikslumas, sąveika. Pateikiami kritiniai sėkmės faktoriai diegiant BIM: verslo procesų reorganizavimas, standartizacija, suinteresuotų subjektų dalyvavimas, informacijos valdymo mokymas, techninis išprusimas, sistemos atrankos procesas.

Užsienio autorių tyrimų gausa, kaip geriau ir lengviau įdiegti BIM, skatina kritiškai vertinti pastato informacinį modeliavimą. BIM diegimas sparčiausiai stipriai išsivysčiusiose šalyse (BIM privalomas JAV, Jungtinėje Karalystėje, Norvegijoje, Nyderlanduose, Suomijoje). Remiantis užsienio autorių patirtimi daroma išvada, kad reikalinga sistema, kurios dėka BIM diegimas skirtingose statybos pramonės sferose taptų paprastesnis. Autorius plačiau nagrinėja BIM diegimą projektavimo įmonėje. Tačiau sėkmingas BIM įsisavinimas turėtų vykti pakopomis. Siekiama išsiaiškinti, kaip turėtų vykti diegimo procesas projektavimo įmonėje norint pasiekti 2-ą BIM brandos lygį. 2 lygyje naudojama 3D aplinka, sukurti atskiri metodiniai modeliai su prisegta informacija. Visos suinteresuotos statybos proceso šalys naudojasi 3D aplinka, bet nebūtinai viename modelyje. Bendradarbiavimas atsiranda vykdant informacijos mainus tarp dalyvių. Duomenys gali apimti 4D ir 5D informaciją. Projektavimo informacija dalijamasi naudojant bendrą failo formatą, kuris leidžia organizacijoms sujungti duomenis siekiant sukurti vientisą BIM modelį ir atlikti jo patikrinimus. Todėl bet kuri CAD programinė įranga privalo turėti galimybes eksportuoti duomenis į bendrą failo formatą.

BIM diegimas projektavimo įmonėje yra sudėtingas procesas. Atsižvelgus į atliktą literatūros apžvalgą, autoriaus atliktus mokslinius tyrimus, siūloma BIM diegimą projektavimo įmonėje suskirstyti į 4 lygių pakopas (2.1 paveikslas).

1 pakopa. Pirmoje pakopoje statybos / projektavimo įmonė turėtų įvertinti BIM poreikį ir savo galimybes. Atsakingas įmonėje asmuo ar konsultantas turėtų kritiškai įvertinti, kokių BIM funkcijų reikia pasiekti geresniems rezultatams, kokios funkcijos ar projektavimo būdai (4D, 5D, 6D ir t. t.) reikalingi įmonei. Kadangi BIM diegianti projektavimo ar statybos įmonė pirmą kartą susiduria su BIM diegimu, jai priimti sprendimą galėtų padėti BIM universitetas. Visų pirma BIM universitetas – tai Lietuvos aukštosios mokyklos, ruošiančios statybos ir architektūros specialistus. Jos pirmos turi matyti ir kritiškai vertinti patį BIM procesą ir jo diegimo galimybes. BIM universitetas galėtų būti ir statybos asociacijos, partneriai, kurie jau yra įsidiegę BIM. Svarbiausia, kad BIM universiteto atstovai būtų kompetentingi ir jokia būdu nebūtų vienos organizacijos ar įmonės atstovai (pvz., BIM programinės įrangos atstovai, kurie yra suinteresuoti reklamuoti savo produktą). BIM universiteto atstovai teiktų besidiegiančioms BIM projektavimo įmonėms kompetentingus patarimus, atsakytų į rūpimus klausimus ir teiktų pagalbą visų 4 diegimo pakopų metu. Svarbu tai, jog BIM universiteto atstovai pasiūlytų įmonei palankiausią BIM

diegimo variantą pirminiame procese ir nebūtinai siūlytų diegimą. Įvertinus įmonės ekonominius rodiklius, atstovai galėtų pasiūlyti palaukti, kol ekonominiai įmonės rodikliai pagerės arba pasiūlytų alternatyvų pigesnės BIM programinės įrangos variantą.



2.1 pav. BIM lygiai / pakopos (sukurta autoriaus)

Fig. 2.1. BIM implementation levels / stages (author created)

2 pakopa. Antrojoje pakopoje statybos / projektavimo įmonė turėtų įvertinti žmogiškuosius resursus. BIM diegimo sėkmė labai priklauso nuo tiesiogiai su BIM programomis dirbančio personalo. Visų pirma įmonėje reikėtų kritiškai įvertinti esamą personalą. Svarbu nustatyti įmonės darbuotojus, kurių atliktas darbas yra įmonėje atliekamų paslaugų pagrindas. Įvertinama, ar įmonės darbuotojai yra imlūs inovacijoms, ar nori tobulėti, ar yra patenkinti savo atliekamomis paslaugomis, jų kokybe, ar dažnai pasitaiko klaidų, ar reikia projektą taisyti statybos procese.

BIM universitetas šiame diegimo procese turėtų atlikti svarbų vaidmenį. Diegianti BIM įmonė galėtų kreiptis į BIM universitetą dėl esamo personalo

apmokymų, naujo personalo su reikiamais įgūdžiais paieškomis ar pačių BIM kompiuterinių programų įvertinimo.

3 pakopa. Trečioji BIM diegimo pakopa įvertintų pačių programų pasiūlą ir jų kainą. Šiandieninėje rinkoje yra labai didelė BIM programų pasiūla. Rinkoje yra siūlomos įvairios BIM programos su skirtingomis ar panašiomis galimybėmis. BIM diegimą vertinanti statybos / projektavimo įmonė turėtų apklausti BIM programų tiekėjus, kurie pateiktų pasiūlymus, atspindinčius jų siūlomų programų galimybes, programinės įrangos paketų pasiūlymus, nuolaidas įsigyjant visa paketą ar tik atskiras reikalingas įmonėje dirbantiems projektuotojams programas. Vertinant BIM galimybes ir reikiamas funkcijas galėtų būtų pasitelkti BIM universiteto specialistai. Antroje ir trečioje BIM diegimo pakopose labai svarbu sužinoti, kokiomis BIM projektavimo programomis naudojasi Lietuvos aukštosios mokyklos ruošdamos jaunus specialistus ir / ar atsiradus poreikiui bus galimybė surasti naują darbuotoją ar pakeisti esamą.

4 pakopa. Ketvirtosios BIM diegimo pakopos pagrindą sudaro BIM programų atsiperkamumo nustatymas. Surinkus reikiamus duomenis turėtų būti įvertinamas įmonės pasirengimo lygis BIM diegimui. Šiame etape BIM universitetas galėtų rekomenduoti atsipirkimo skaičiavimo metodiką ar atlikti patį skaičiavimą, kuris būtų naudingas BIM technologijas besiruošiančiai diegti projektavimo / statybos įmonei. Tik tinkamai įvertinus pačių investicijų atsipirkimą būtų galima nustatyti, ar BIM diegimas atneš norimą naudą, ar investicijų į inovacijas dar reiktų palaukti.

Atsižvelgiant į autoriaus sudarytas keturias BIM diegimo pakopas / lygius pastebima, kad diegimo procesui projektavimo įmonėje reikalingas ypatingas dėmesys. Lietuvoje BIM programos populiarėja, didžiosios projektavimo įmonės jau turi patirtį naudojant BIM, mažos ir mikro įmonės delsia investuoti, tačiau perėjimas prie BIM technologijų yra neišvengiamas. 2013 metais Europos Parlamentas balsavo už vieningą Europos Sąjungos Viešųjų Pirkimų Direktyvą 3, kuri atliekant viešuosius pirkimus rekomenduoja naudoti įvairius elektroninius įrankius („Skaitmeninės statybos Lietuvoje gairės 2014–2020“, 2014). Vienas tokių įrankių statybos srityje kaip tik ir yra BIM reikalavimų įtraukimas (22 straipsnio 4 punktą). Direktyvoje skelbiama, kad viešųjų darbų pirkimo sutarčių ir projekto konkursų atveju valstybės narės gali reikalauti naudoti specialias elektronines priemones, pavyzdžiui, pastatų informacijos elektroninio modeliavimo priemones ar pan. (Europos Parlamento ir Tarybos Direktyva 2014/24/ES, 2014).

BIM taikymas darytų teigiamą įtaką projektavimo įmonių darbo efektyvumui, palengvintų bendradarbiavimą tarp statybos proceso dalyvių. Remiantis „Skaitmeninės statybos Lietuvoje gairėmis 2014–2020“ (2014) platus BIM taikymas Europos architektūros, inžinerijos ir statybos sektoriuje ne tik

sumažins projektavimo, statybos darbų bei eksploatacijos kainas, apmokomas iš valstybių biudžeto, bet ir padės globaliam Europos Sąjungos konkurencingumui, leis įgyvendinti taršos mažinimo bei energinio efektyvumo didinimo uždavinius nuo 2020 metų statyti energijos beveik nenaudojančius pastatus.

Daroma išvada, kad bėgant laikui BIM technologijų panaudojimas bus neišvengiamas norint dalyvauti viešuosiuose pirkimuose, bei siekiant būti konkurencinga projektavimo ar statybos įmone. BIM nėra vien tik programinė įranga ar technologija, tai visa apimantis mechanizmas. Siekdamas teisingai įvertinti BIM, autorius nagrinėja BIM technologijų efektyvumą pagal sukurtą 4 lygių / pakopų suskirstymą. Atliekami tyrimai, kuriais įvertinami skirtingi BIM diegimo pakopas sąlygojantys veiksniai.

Disertacijoje atliekamas daugiapakopis vertinimas pradedamas BIM reikšmės statyboje įvertinimu remiantis užsienio autorių literatūra ir disertacijos autoriaus tyrimu apie BIM (4D) modelio efektyvumą teoriniu aspektu (1 pakopa – BIM poreikio ir galimybių įvertinimas). Autorius atlieka BIM technologijų įtakos darbo efektyvumui tyrimą įvertindamas 100 aukščiausių dangoraižių pasaulyje (1–2 pakopos: nustatomas BIM poreikis, darbuotojų darbo efektyvumas pradėjus naudoti BIM (nagrinėjant 1–2 pakopas publikuoti straipsniai: „Keturių dimensijų modelio efektyvumo vertinimo teorinis aspektas“, „BIM technologijų įtaka darbo efektyvumui“, „The need of BIM technologies implementation to design companies“)). Autorius atlieka BIM panaudojimo statybos inžinerijos studijose vertinimo tyrimą (1–4 pakopos – apžvelgiamos BIM universiteto galimybės (nagrinėjant pakopą publikuotas straipsnis: „Pastato informacinio modelio (BIM) panaudojimas statybos inžinerijos studijose“)). Autoriaus sukurta 4D ir 2D palyginimo eksperimento metodika, leidžianti paprastais metodais įvertinti darbo spartą, klaidų prevenciją, brėžinių suvokimą, klaidų, atsirandančių statybos metu, taisymą (publikuoti straipsniai: „The evaluation and justification of the effectiveness of 4D CAD using multi-criteria analysis“, „Efficiency Evaluation of 4D CAD Model“)). Pagal parengtą metodiką atliktas eksperimentas (1–2 pakopa – BIM poreikis ir galimybės statybos įmonėms bei BIM įtaka personalui, darbuotojams).

Autorius atlieka BIM technologijų projektavimo paslaugų įmonėje vertinimą (3–4 pakopos – nustatomas diegimo poreikis projektavimo įmonėje, diegimą įtakojantys veiksniai). BIM atsiperkamumo įvertinimui autorius siūlo sukurtą „ROI MR“ atsiperkamumo skaičiavimo modelį (4 pakopa – BIM atsiperkamumo nustatymas (parengtas straipsnis: „ROI of BIM technologies implementation to design company“)). BIM „ROI MR“ skaičiavimo modelis yra skirtas projektavimo paslaugas diegiančiai įmonei. Modelyje yra vertinami tokie kintamieji: programinės įrangos kaina, mėnesinis darbo užmokestis darbuotojui, apmokymų trukmė, produktyvumo sumažėjimas dėl mokymų, produktyvumo

padidėjimas po mokymų, tiesioginis projektavimo darbas, įmonės darbų specifiškumas.

2.2. Keturių dimensijų projektavimo modelio efektyvumo vertinimas ir pagrindimas taikant daugiakriterinę analizę

Dalintis informacija, ją tinkamai modeliuoti tampa vis svarbesnis uždavinys įgyvendinant statybos projektus nuo idėjos iki rakto. Informacijos pasidalijimas tarp įvairių sričių specialistų padeda geriau išspręsti kilusias problemas ir tobulinti skirtingus įgūdžius. 4D projektavimas gali padėti padidinti komunikacijos efektyvumą ir sumažinti interpretavimo galimybę visiems suinteresuotiems statybos projekto dalyviams.

Statybos procesų efektyvumo didinimo tema aktuali ir analizuota daugelio autorių. Laikantis nuostatos, kad viena iš efektyvumo užtikrinimo sąlygų – laiko panaudojimo sprendimai bei materialijų išteklių valdymas statybų aikštelėje, Wang *et al.* (2004) tyrė 4D panaudojimą dinaminiam valdymui ir išteklių panaudojimui statybos planavimo procese. Maa *et al.* (2005) analizavo 4D taikymą dinaminiam statybų aikštelės planavimui ir statybų vadybos procesui. Jongeling, Olofsson (2006) tyrė darbo srautų planavimo galimybę naudojant dvi priemones – darbo proceso planavimą statybos aikštelėje ir 4D CAD modelį. Tantisevi, Akinci (2006) gilinasi į automatizuotas automobilinių kranų darbo vietos reikalavimų generavimą siekiant išvengti konfliktų. Russell *et al.* (2008) pristatė 4D CAD panaudojimą daugiaaukščių pastatų vizualizacijoje ir linijiniame planavime. Mahalingam *et al.* (2009) vertino 4D CAD modelio pritaikomumą statybos projektavime. Turkan *et al.* (2011) labiau domino automatizuotas statybų proceso stebėjimas, naudojant 4D planavimą ir 3D projektavimo technologijas.

Ku, Taiebat (2011), pagrindė 3D, 4D, 5D aktualumą ir poreikį statybų sektoriuje analizuodami šių projektavimo modelių panaudojimą JAV statybos pramonės įmonėse.

4D modelio tema Lietuvoje menkai nagrinėta, o 4D CAD praktinėje veikloje beveik netaikomas. Objektų skaičius, projektuotų naudojant 4D modelį minimalus, taikytas tik sudėtingiems daugiaaukščiams pastatams, pavyzdžiui Vilniaus miesto savivaldybės pastatų kompleksui, projektuotam UAB „In Re“, vieno iš 4D programų atstovo Lietuvoje. 4D efektyvumo vertinimas yra praktiškai nenagrinėta sritis Lietuvos statybos pramonėje. Naują požiūrį į 4D teikiamą naudą pristatė Liaudanskienė *et al.* (2012), analizavę galimybę modelio pagalba sumažinti darbo saugos problemas, lemiančias ne tik laiko, bet ir finansinius nuostolius statybos procese. Didžiausias įdirbis ieškant inovatyvių

statybų sektoriaus efektyvumo didinimo ir vertinimo sprendimų tenka Migilinskas, Ustinovičius (2006, 2008), Popov *et al.* (2010). Minėti autoriai ne tik ieškojo efektyvumo didinimo būdų naudojant kompiuterines technologijas projektavime, bet ir akcentavo poreikį naudoti metodus, padedančius nustatyti, kurios statybos proceso dalys ir procesą įtakojantys veiksniai yra svarbiausi.

2.1.1. 4D efektyvumo vertinimo eksperimentas

Eksperimento eiga:

1 etapas. Statybos objektu pasirinktas „Lego“ kaladėlių modelis „Apple tree house“ (2.2 paveikslas). Naudotas supaprastintas namo modelis, eliminuojant gerbūvio elementus (medžius, krūmus, suolelius, krepšinio stovą, palydovinę anteną, lauko šviestuvą). Langų, durų, garažo vartų sudėtinės dalys pateiktos dalyviams pilnai sukomplektuotos, sujungiant į visumą. Namo modelį sudaro 330 „Lego“ kaladėlių.



2.2 pav. „Lego Apple tree house“ (Reizgevičius *et al.* 2013b)

Fig. 2.2. „Lego Apple tree house“ (Reizgevičius *et al.* 2013b)

Tyrimui naudoti „Lego“ kaladėlių namą nuspręsta dėl kelių priežasčių: „Lego“ kaladėlių konstruktoriai yra žinomi, patogūs naudoti ir nereikalaus skirti papildomo laiko įgusti naudotis mažai žinomu ir sudėtingu konstruktoriumi. „Lego“ kaladėlės patogios imituoti vieną iš pagrindinių statybos įrankių – plytas. „Lego“ kaladėlės leidžia sukurti tikrovišką namo vaizdą. Kaladėlės lengvai ardomos ir surenkamos. Dalys skiriasi dydžiu, spalva, forma ir leidžia dalyviams jas greičiau atskirti ir lengviau naudoti kaip statybos elementų analogą.

2 etapas. Programinės įrangos pasirinkimas, 2D ir 4D eksperimento užduoties braižymui. Pasirinkta „Autodesk Revit“ grafinio dizaino programinė įranga, leidžianti gauti 2D ir 4D brėžinius.

3 etapas. Sukurti 2D ir 4D „Apple tree house“ brėžiniai (2.2 lentelė). Brėžinių grafinė dalis buvo rengiama 40 valandų.

4 etapas. Eksperimento dalyvių atranka. Dalyviais pasirinkti statybos inžinerijos nuolatinių universitetinių bakalauro studijų trečio kurso studentai. Pasirinkimo argumentai: statybos inžinerijos žinios ir gebėjimas suprasti ir naudoti grafinę informaciją, pateikiamą tiek 2D, tiek 4D formatu. Eksperimentui pasirinkti 28 dalyviai. 28 eksperimento dalyviai atsitiktine tvarka sugrupuoti po 2, siekiant eksperimento metu sudaryti komandinio darbo sąlygas. 14 dalyvių grupių, atsitiktine tvarka buvo susikirstytos į 2 pogrupius. 7 grupės pateko į 2D pogrupį ir 7 grupės pateko į 4D pogrupį.

2.2 lentelė. 2D ir 4D grupių brėžinių sąrašas (Reizgevičius *et al.* 2014)

Table 2.2. 2D and 4D groups drawings list (Reizgevičius *et al.* 2014)

2D CAD brėžiniai	4D CAD brėžiniai
Pirmo aukšto planas (1-a linija)	4D statybos etapai (1 & 2)
Pirmo aukšto planas (7-a linija)	4D statybos etapai (3 & 4)
Antro aukšto planas (11-a linija)	4D statybos etapai (5 & 6)
Antro aukšto planas (stogas iš rytų pusės)	4D statybos etapai (7 & 8)
Stogo planas	4D statybos etapai (9 & 10)
Rytų fasadas	4D statybos etapai (11 & 12)
Vakarų fasadas	4D statybos etapai (13 & 14)
Pietų fasadas	4D statybos etapai (15 & 16)
Šiaurės fasadas	4D statybos etapai (17 & 18)
Pjūvis 2–2	4D statybos etapai (19 & 20)
Pjūvis 1–1	4D statybos etapai (21 & 22)
	4D statybos etapai (23 & 24)
	4D statybos etapai (25 & 26)
	4D statybos etapai (27 & 28)

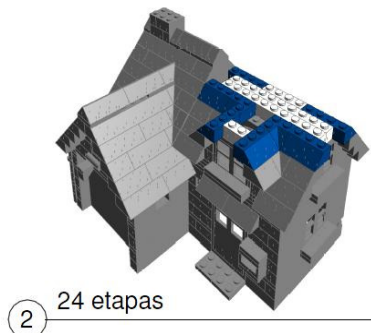
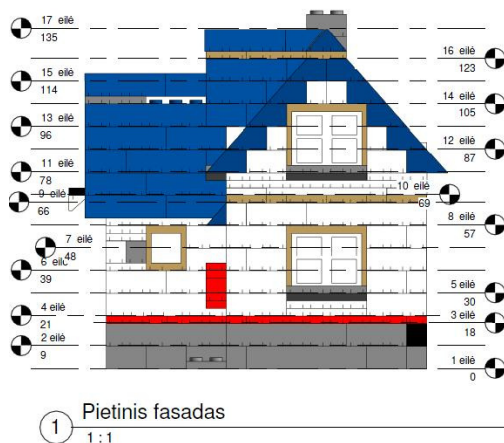
5 etapas. Eksperimento atlikimas. Eksperimento dalyviams pateikiama ir pristatoma eksperimento instrukcija: tyrimo tikslas, dalyvių vaidmuo tyrime, atliekama užduotis.

Eksperimento dalyviai pildė anketą, nurodydami lytį, amžių, praktinę darbo patirtį statybų srityje, planuojamą užduoties atlikimo laiką.

Dalyviai supažindinti su CAD brėžiniais, skirtais užduočiai atlikti. 2D pogrupio dalyviams: dvimačiai CAD brėžiniai (2.3 paveikslas). 4D pogrupio dalyviams: 4D namo modelio statybos brėžiniai suskaidyti skirtingais etapais: „Lego“ namas suskaidytas į 28 etapus (2.2 lentelė).

Užduoties atlikimas – pirmas etapas: trukmė 5 min. Jis skirtas susipažinti su brėžiniais, diskutuoti, aptarti eigą grupėje.

Užduoties atlikimas – antras etapas: „Apple tree house“ statyba. Antro etapo tikslas pastatatyti namą sunaudojant mažiau laiko sąnaudų ir padarant kuo mažiau klaidų. Maksimalus duodamas laikas modelio statybai – 60 min. Eksperimento grupių tikslas – pastatyti statybos objektą, turint ribotus laiko išteklius.



2.3 pav. Lego 2D ir 4D brėžinių pavyzdžiai (Reizgevičius *et al.* 2013b)

Fig. 2.3. Lego 2D and 4D drawing examples (Reizgevičius *et al.* 2013b)

Eksperimento metu naudotos priemonės:

4D ir 2D brėžinių komplektai.

Lego kaladėlių rinkinys „Apple tree house“ (2.2 paveikslas).

Chronometras naudojamas įrašyti kiekvienos grupės praleistą laiką, aiškinant jiems 4D CAD informaciją, atliekant užduotį.

Filmavimo kamera, skirta fiksuoti eksperimento eigai.

Eksperimento eigos vertinimo anketa, kurioje fiksuojama užduoties atlikimo trukmė, padarytų klaidų skaičius, perstatytų kaladėlių skaičius, užduoties išbaigtumas.

6 etapas. Eksperimento vertinimas. Eksperimento vertinimo kriterijai:

- Bandymo dalyvių nuomone, reikalingas laikas užduoties įvykdymui.
- Namų statybos laiko sąnaudos, jei jis pastatytas greičiau nei duotas laiko limitas.
- Perstatytų Lego kaladėlių skaičius – faktinis pakeistų, pakoreguotų statybos proceso metu, detalių skaičius.
- Modelio išbaigtumo procentinė išraiška apskaičiuojama pagal panaudotų ir nepanaudotų „Lego“ kaladėlių santykį:

$$I = N / B \cdot 100 \%.$$

I – modelio išbaigtumas (procentinė išraiška); N – panaudotų kaladėlių skaičius; B – bendras duotas modelio kaladėlių skaičius.

- Modelio tikslumas, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$T = N / (N - K) \cdot 100 \, \%.$$

Čia T – modelio tikslumas (pocentinė išraiška); N – panaudotų kaladėlių skaičius; K – klaidingai panaudotų kaladėlių skaičius.

7 etapas. Sprendimo priėmimo metodų (SAW, COPRAS, TOPSIS) pagalba buvo papildyti ir konkretizuoti eksperimento rezultatai.

SAW sprendimo priėmimo metodas

Paprastasis adityvus svorių metodas (SAW – *Simple Additive Weighting*) yra vienas iš paprastesnių ir plačiausiai taikomų metodų. Šio metodo taisyklės yra apibendrintos MacCrimmon (MacCrimmon, 1968).

Įvesties duomenys – sprendimų matrica ir rodiklių reikšmingumo reikšmės. SAW metodo žingsniai pateikti eilės seka. Sprendimų matrica normalizuojama. Normalizuotosios matricos to paties varianto kiekvienas narys dauginamas iš jo reikšmingumo ir sudedamas su kitais alternatyvos (eilutės) nariais.

Pradiniai duomenys, sprendžiant šiuo metodu yra sprendimo matrica P ir efektyvumo rodiklių reikšmingumo reikšmės (šiuo atveju integruoto reikšmingumo $(q_1^*, q_2^*, \dots, q_n^*)$), tenkinančios sąlygą:

$$\sum_{j=1}^n q_j^* = 1. \quad (2.1)$$

Sprendimo matricos P nariai, kuriuos reikia maksimizuoti, normalizuojami pagal formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}}, \quad (2.2)$$

o tie, kuriuos reikia minimizuoti – pagal formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_j^{\min}}{x_{ij}}. \quad (2.3)$$

Nustatant varianto racionalumą, atitinkami normalizuotosios matricos nariai dauginami iš efektyvumo rodiklių reikšmingumo reikšmių ir gautos sandaugos susumuojamos. Racionalaus varianto sandaugų suma gaunama maksimali:

$$A = \left\{ A_i \left| \max_i \sum_{j=1}^n q_j^* \bar{x}_{ij} \right. \right\}. \quad (2.4)$$

TOPSIS sprendimo priėmimo metodas

Yoon ir Hwang (Hwang, Yoon 1981) sukūrė variantų prioritetiškumo nustatymo metodiką, pagrįstą koncepcija, kad optimali alternatyva turi mažiausią atstumą nuo idealaus sprendimo ir didžiausią atstumą nuo „neigiamai idealaus“ sprendimo. Šis metodas vadinamas variantų racionalumo nustatymo artumo idealiajam taškui metodu (TOPSIS – *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*).

Tarkime, kad kiekvieno rodiklio reikšmės nuolat didėja arba nuolat mažėja. Tuomet galima nustatyti „idealų“ sprendimą, kuris yra sudarytas iš geriausių rodiklių reikšmių, ir „neigiamai idealų“ sprendimą, kuris yra sudarytas iš blogiausių rodiklių reikšmių (Hwang, Yoon 1981).

Būtina sudaryti sprendimų matricą P norint taikyti artumo idealiam taškui metodą. Matricoje eilutės žymi nagrinėjamas alternatyvas (m – alternatyvų skaičius), stulpeliai – efektyvumo rodiklius (n – efektyvumo rodiklių skaičius), pagal kuriuos vertinamos alternatyvos:

$$P = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad (2.5)$$

čia x_{ij} – i -osios alternatyvos, j -ojo efektyvumo rodiklio reikšmė.

Taikant metodą TOPSIS, sprendimų matrica P normalizuojama atliekant vektorinę normalizaciją:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}. \quad (2.6)$$

Gauta normalizuotoji matrica \bar{P} , kurios visos efektyvumo reikšmės – bedimensiai dydžiai:

$$\bar{P} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}. \quad (2.7)$$

Tarkime, kad žinomos rodiklių integruoto reikšmingumo reikšmės q_j^* , ($j = \overline{1, n}$). Taikant formulę (2.8), sudaroma svertinė normalizuota matrica \overline{P}^* :

$$\overline{P}^* = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1^* \overline{x}_{11} & q_2^* \overline{x}_{12} & \cdots & q_n^* \overline{x}_{1n} \\ q_1^* \overline{x}_{21} & q_2^* \overline{x}_{22} & \cdots & q_n^* \overline{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ q_1^* \overline{x}_{m1} & q_2^* \overline{x}_{m2} & \cdots & q_n^* \overline{x}_{mn} \end{bmatrix}. \quad (2.8)$$

„Idealiai geriausias“ variantas (alternatyva) nustatomas pagal formulę:

$$A^+ = \{(\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J') | i = \overline{1, m}\} = \{a_1^+, a_2^+, \dots, a_n^+\}, \quad (2.9)$$

čia J – rodiklių, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė;

J' – rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė.

„Neigiamai idealus“ variantas nustatomas pagal formulę:

$$A^- = \{(\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J') | i = \overline{1, m}\} = \{a_1^-, a_2^-, \dots, a_n^-\}. \quad (2.10)$$

Atstumas tarp lyginamojo i -tojo ir „idealiai geriausio“ A^+ varianto nustatomas skaičiuojant atstumą n -matėje Euklido erdvėje, pagal formulę:

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^+)^2}, \quad (i = \overline{1, m}), \quad (2.11)$$

o tarp i -tojo ir „neigiamai idealaus“ A^- , pagal formulę:

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^-)^2}, \quad (i = \overline{1, m}). \quad (2.12)$$

Galutinius TOPSIS metodo žingsniu nustatomas kiekvieno i -ojo varianto santykinis atstumas iki „idealiai geriausio“ varianto:

$$K_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, i = \overline{1, m}, \text{ kai } K_i \in [0, 1]. \quad (2.13)$$

Kuo K_i reikšmė artimesnė vienetui, tuo i -asis variantas artimesnis A^+ t. y. racionalus variantas bus tas, kurio K_i reikšmė yra didžiausia (Hwang, Yoon 1981; Ustinovičius, Zavadskas 2004).

COPRAS sprendimo priėmimo metodas

COPRAS metodas sukurtas 1996 metais (kompleksinio proporcingumo vertinimo metodas) (Zavadskas, Kaklauskas 1996). Pagrindinis COPRAS metodo principas – lyginamųjų alternatyvų santykinis reikšmingumas Q_i nustatomas remiantis juos apibūdinančiomis teigiamomis S_{+i} ir neigiamomis S_{-i} savybėmis. Kuo Q_i reikšmė didesnė, tuo alternatyva labiau atitinka sprendimą priimančio asmens poreikius.

Sudaroma sprendimų matrica $P = [x_{ij}]_{m \times n}$, $(i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n})$, kurioje eilutės žymi nagrinėjamas alternatyvas (m – alternatyvų skaičius), stulpeliai – efektyvumo rodiklius (n – efektyvumo rodiklių skaičius), pagal kuriuos vertinamos alternatyvos. Apskaičiuojamos efektyvumo rodiklių reikšmingumo reikšmės.

Sprendimų matricos P elementai normalizuojami pagal formulę:

$$\hat{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \quad (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}), \quad (2.14)$$

čia x_{ij} – i -osios alternatyvos j -ojo rodiklio reikšmė. Gauta normalizuota sprendimų matrica $\hat{P} = [\hat{x}_{ij}]_{m \times n}$, $(i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n})$.

Normalizuotos sprendimų matricos elementus dauginant iš atitinkamų rodiklių reikšmingumo reikšmių, gaunama svertinė normalizuota sprendimų matrica $\tilde{P} = [\tilde{x}_{ij}]_{m \times n}$, $(i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n})$. Jei turimas efektyvumo rodiklių

integuoto reikšmingumo reikšmių vektorius $(q_1^*, q_2^*, \dots, q_n^*)$, tuomet svertinės normalizuotos sprendimų matricos elementai apskaičiuojami pagal formulę:

$$\tilde{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} \cdot q_j^*, \quad (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}). \quad (2.15)$$

Apskaičiuojamos i -osios alternatyvos, svertinėje normalizuotoje sprendimų matricioje, maksimizuojamų ir minimizuojamų rodiklių sumos, atitinkamai S_{+i} ir S_{-i} . Jos apskaičiuojamos pagal formules:

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^k \tilde{x}_{ij}, \quad (i = \overline{1, m}). \quad (2.16)$$

$$S_{-i} = \sum_{j=k+1}^n \tilde{x}_{ij}, \quad (i = \overline{1, m}), \quad (2.17)$$

čia k – maksimizuojamų rodiklių skaičius;

$n-k$ – minimizuojamų rodiklių skaičius.

Alternatyvų santykinis reikšmingumas (efektyvumas) Q_i nustatomas pagal formulę:

$$Q_i = S_{+i} + \frac{S_{-min} \cdot \sum_{i=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{S_{-min}}{S_{-i}}}, \quad (j = \overline{1, n}), \quad (2.18)$$

$$S_{-min} = \min_i S_{-i}, \quad (i = \overline{1, m}). \quad (2.19)$$

Sudaroma alternatyvų prioritentinė eilutė (alternatyvos yra suranguojamos). Kuo didesnis Q_i , tuo alternatyvos racionalumas (efektyvumas) yra didesnis (Zavadskas, Kaklauskas 1996).

2.1.2. Keturių dimensijų modelio efektyvumas

Efektyvumas – gamybos išteklių panaudojimo lygis, garantuojantis maksimalų rezultatą. Gamybos išteklių panaudojimo subalansavimu galima siekti alokacinio, technologinio, dinaminio efektyvumo. Alokacinis efektyvumas reiškia, kad turimi ištekliai yra geriausiai paskirstyti didžiausiam naudingumui gamybos, paslaugų teikimo procese rezultatams gauti. Technologinis efektyvumas – nuostolių nebuvimas geriausiai naudojant turimus išteklius. (Bagdonavičius *et al.* 1999). Laiko veiksnys – vienas iš parametų, naudojamų vertinti efektyvumą, analizuojamas tiek užsienio, tiek lietuvių mokslininkų literatūroje. Pasak Stoškaus, Petukienės (2008), didžiausia problema, su kuria yra susiduriama šiandien, – laiko problema. Šiai nuomonei pritaria ir 4D modelio taikymą analizuojantys mokslininkai. Nuoseklus statybos planavimas ir efektyvus statyb vietės panaudojimas yra svarbus veiksnys sklypo planavimui ir pastatų statybai. Šiandienos sudėtingus projektus reikia planuoti su dideliu kiekiu projektų dalyvių ir kontroliuojančiųjų asmenų. Pasak Jongeling, Olofsson (2007), analizavusių statybos praktiką Švedijoje, tik 15–20 proc. statybos proceso laiko sudaro tiesioginis darbas statybos aikštelėje. Apie 45 proc. darbo laiko skiriama netiesioginiam darbui: pasiruošiamiesiems darbams, instruktažui ir apmokymams, apsirūpinimui statybinėmis medžiagomis. Likę 35 proc. laiko skiriami klaidų taisymui, prastovoms, delsimui – neefektyvioms laiko sąnaudoms.

Wong, Fan (2012), pristatė pastato informacinio modelio (BIM) teikiamą efektyvumą kitu aspektu – darbo jėgos poreikio skirtumo statinio projektavimo procese. Skirtingai, nuo prieš tai minėtų efektyvumo laiko požiūriu tyrimų, autoriai pristato, kad pradiniam projektavimo etape (iki pilno 3D modelio

sukūrimo), BIM technologija reikalauja ženkliai didesnių darbo išteklių, nei tradicinio (2D) projektavimo modelis. Lūžis darbo jėgos poreikyje įvyksta rengiant atskiras dalis (pjūviai, fasadai, specialiosios dalys – šildymas, vėdinimas, elektra ir kt.).

Pasak Chaua *et al.* (2005), 4D SMM (four-dimensional site management model) ir 4D GCPSU (graphics for construction and site utilization) grafinės priemonės statyboje ir statybos aikštelės panaudojimui yra 4D modelio praktikoje taikomi produktai, kurie leidžia gerinti statybos procesų efektyvumą.

Didesnis statybos procesų efektyvumas užtikrinamas:

1. Palaikant daugelio vartotojų duomenų pasikeitimo galimybę ir konfliktų išvengimo principą vientisoje sistemoje.

2. Įvertinant statybos procesų konfliktų galimybes, vadybos funkcijas ir konstrukcinės saugos problemas.

3. Elementams suteikiant medžiagų savybes ir apkrovas veikiančias vietas.

Dawood, Sikka (2008) analizavo 4D modelio teikiamą efektyvumą, atsižvelgdami į laiko veiksnį, kaip į prielaidą efektyvumo didinimui. Autoriai tyrimui naudojo „Lego“ konstruktoriaus namo modelį. Eksperimento metu naudojant 2D ir 4D projektavimo brėžinius, buvo vertinami laiko sąnaudų skirtumai, kurie pasiekiami sumažinant klaidų skaičių, informacijos naudojimo intensyvumą, sąnaudas, reikalingas klaidų ištaisymui. Eksperimento metu tyrėjai nustatė, kad 4D modelis yra efektyvesnis dėl keleto priežasčių: 4D informacijos pateikimo forma greičiau, geriau suvokiama ir perduodama. 4D padeda priimant greitesnius sprendimus, lengviau suvokiant loginę statybos procesų seką visiems statybos proceso dalyviams. Dawood, Sikka (2008), tirdami 4D efektyvumą, nustatė, kad, esant vienodam laiko limitui, 4D naudojimas padeda pasiekti vidutiniškai 7 proc. didesnę statybos objekto išbaigtumą nei naudojant 2D modelį. Tyrimų metu taip pat buvo nustatyta, kad 4D modelio informacijos pateikimo forma yra viena iš efektyvumo sąlygų, kadangi informacija suvokiama geriau ir 12 proc. retesnė prieiga prie statybos projekto informacijos nei naudojant 2D modelį. Vienas iš didžiausių 4D modelio privalumų – klaidų sumažinimas. Nustatyta, kad naudojant keturių dimensijų modelį statybos procese klaidų tikimybė sumažėja 40 proc. lyginant su dviejų dimensijų modelio naudojimu. Tyrėjai nustatė, kad 4D modelio naudojimas sudaro sąlygas didesniai efektyvumui statybos procese, nes padeda vidutiniškai 7 proc. sutrumpinti statybos proceso trukmę, vidutiniškai 14 proc. pagerina statybos proceso suvokimą, vidutiniškai 8 proc. sumažina laiko sąnaudas projekto brėžinių skaitymui ir 67 proc. sumažina laiko sąnaudas statybos klaidų taisymui, lyginat su dviejų dimensijų modelio naudojimu.

Liaudanskienė *et al.* (2012) atkreipia dėmesį į vieną 4D efektyvumo aspektą, netyrinėtą Lietuvoje ir menkai tirtą užsienio tyrėjų 4D efektyvumo kontekste – 4D panaudojimas sprendžiant struktūrinių, techninių ir darbo saugos problemų

sumažinimo galimybė. Šių problemų sprendimams autoriai siūlo naudoti trijų stadijų medžio diagramos modelį (*Tree stage tree diagram model*).

Kaip jau buvo minėta, 4D modelio tiek teorinė analizė, tiek praktinis naudojimas yra gana nauja aktuali sritis. Tai lemia nuostatos, kad 4D projektavimas tinkamas sudėtingiems statybos objektams, pavyzdžiui daugiaaukštei statybai. Doner *et al.* (2010), pristato kitą 4D modelio panaudojimo alternatyvą – geodezinį projektavimą. Atlikę 4D pritaikomumo geodeziniais projektams analizę, autoriai pagrindė šio projektavimo metodo tinkamumą ir reikalingumą, augant žemėtvarkos projektų sudėtingumui Nyderlanduose.

4D projektavimo modelis sudaro prieš tai išvardintas prielaidas efektyvumui dėl programose pateikiamų įrankių. Xu *et al.* 2010 atliko populiarių CAD programų palyginimus pristatydami skirtingas programų teikiamas galimybes.

2.3 lentelė. Populiariausios CAD formos (Reizgevičius *et al.* 2014)

Table 2.3. Most popular CAD forms (Reizgevičius *et al.* 2014)

Failo formatas	Programa	Gamintojas	Pateikiama informacija
DXF	„AutoCAD“	AutoDesk	Geometrija, spalvos
3DS	„3DSMAX“	AutoDesk	Geometrija, medžiagos, tekstūra, apšvietimas, animacija, kamera
FLT	„Multigen“	Multigen	Geometrija, medžiagos, tekstūra, apšvietimas, animacija, kamera
OBJ	„Wavefront“	Wavefront	Geometrija, medžiagos, tekstūra
WRL	„VRML“	Silicon Graphics	Geometrija, medžiagos, tekstūra, apšvietimas

Migilinskas, Ustinovičius (2008), pritaria dėl 4D teikiamos naudos statybos procesuose, tačiau atkreipia dėmesį, kad viena aktualiausių problemų su kuriomis susiduriama statybos procesuose – neapibrėžtumo problema (uncertainty problem). Pasak tyrėjų, išskirti nors ir keletą vienodų veiksnių, keliančių riziką ir didinančių neapibrėžtumą statybos procesuose yra labai sudėtinga. Kiekvienas statybos procesas yra unikalus ir turėtų būti vertinamas individualiai, nustatant jam būdingas rizikas ir neapibrėžtumą skirtinguose statybos proceso etapuose. Turskis *et al.* (2009) teigia, kad statybos procesus įtakoja daug išorinių veiksnių, kuriuos įvertinti kiekybiškai dažnai yra sudėtinga. Tokiu atveju tyrėjai rekomenduoja naudoti daugiakriterinės analizės modelius. Šie modeliai turėtų būti taikomi projektavimo stadijoje. Tyrėjai rekomenduoja planuojamus priimti sprendimus įvertinti daugiakriterinės analizės pagalba taikant keletą modelių, kurių pasirinkimas yra gana platus. Turskis *et al.* (2009) rekomenduoja LEVI 4 modelį. Daugiakriterinės analizės pradininkas ir

vystytojas Lietuvoje VGTU profesorius Zavadskas pritaria nuomonei, kad vargu, ar yra vienas geriausias daugiakriterinio vertinimo modelis, todėl taip pat rekomenduoja taikant daugiakriterinę analizę naudoti keletą modelių (Podvezko 2011). Vienas iš naudoti analizei siūlomų metodų – SAW (Simple Additive Weighting) metodas. Šis metodas vienas iš populiariausių dėl nesudėtingo taikymo. SAW metodo atveju minimalios vertės kriterijai turi būti įvertinti prieš metodo taikymą ir konvertuoti į maksimalią vertę naudojant atitinkamas formules. Šis trūkumas yra pašalinamas naudojant COPRAS metodą, sukurtą profesoriaus E.K.Zavadsko ir A.Kaklauskos.

Apibendrinant galima teigti, kad 4D modelis sudaro sąlygas geriausiai planuoti išteklių poreikį ir organizuoti jų panaudojimą statybos proceso metu. Efektyvumą didina ir keturių dimensijų modelio pagalba sumažinamas klaidų skaičius ir laiko sąnaudos, reikalingos pasitaikančių klaidų rekonstrukcijai.

2.1.3. Keturių dimensijų modelio efektyvumo vertinimas

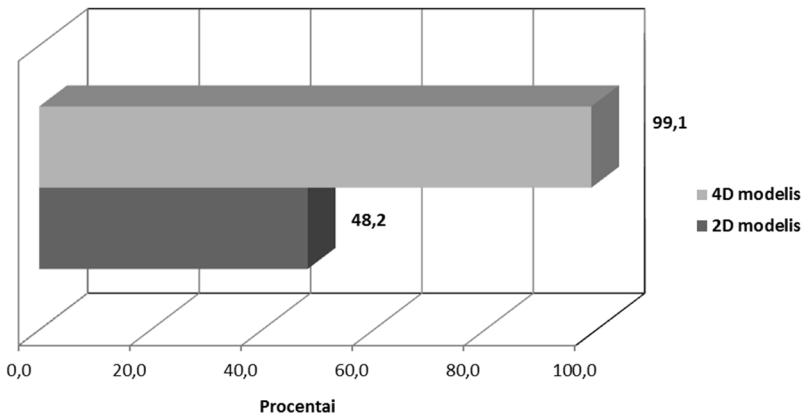
Vertinant 4D efektyvumą atliktas panašus eksperimentas Dawood, Sikka (2008), naudojant „Lego“ konstruktoriaus kaladėles. Pagrindinis eksperimentų panašumas – tikslas įvertinti 4D efektyvumą. Tačiau pagrindinis eksperimentų skirtumas, kad Dawood, Sikka (2008) didžiausią dėmesį skyrė komunikacijai tarp dalyvių statybos procese, eksperimento metu suteikiant ribotą prieigą prie informacijos ir vertinant eksperimento dalyvių gebėjimą atkurti skirtingais formatais pateiktą informaciją.

4D efektyvumo tyrimo metu atliktas eksperimentas ir jo rezultatai buvo vertinami atsižvelgiant į keletą pagrindinių aspektų: modelio išbaigtumas procentais; laiko sąnaudos; nepanaudotų statybos elementų (kaladėlių) skaičius; klaidingai panaudotų statybos elementų (kaladėlių) skaičius; perstatytų statybos elementų (kaladėlių) skaičius. Eksperimento rezultatus galėtų įtakoti gana daug subjektyvių veiksnių, susijusių su dalyviais, tokių kaip amžius, darbo patirtis statybų srityje, asmeninės savybės, padedančios greičiau įsisavinti ir pritaikyti brėžiniuose pateikiamą informaciją, komunikaciniai, darbo grupėje gebėjimai ir t. t. Siekiant išvengti subjektyvių skirtumų tarp dalyvių, eksperimente dalyvaujančios poros yra panašaus amžiaus ir išsilavinimo. Skirtumas, į kurį buvo atsižvelgta ir kuris analizuotas kaip įtaką galintis daryti kriterijus – darbo patirtis statybų srityje.

Esminis 2D ir 4D modelių skirtumas jų vartotojui – informacijos pateikimo forma ir jos naudojimo patogumas. Atliekant eksperimentą buvo daroma prielaida, kad 4D modeliu pateikiama informacija suteikia galimybę statybos procesus vykdyti greičiau, būtent, dėl geresnio informacijos suvokimo. 2.4 paveiksle pateikiami eksperimento metu statyto objekto išbaigtumo duomenys naudojant skirtingą informacijos pateikimo modelį. Eksperimento dalyviai

vadovavęsi 2D forma pateikta informacija įvykdė mažiau nei pusę statybos objekto. Eksperimento 2D grupės dalyvių tarpe mažiausiai išbaigta statybos objekto dalis 33 procentai, didžiausia išbaigta statybos objekto dalis 57 procentai. 2D grupės eksperimento dalyvių vidutinė objekto išbaigtumo dalis mažesnė nei pusė – 48,2 procentai.

4D grupės eksperimento dalyviai įvykdė vidutiniškai apie 99,1 proc. objekto apimties. Šios grupės dalyvių mažiausiai įvykdyta objekto dalis taip pat yra 98,8 proc. Geriausias rezultatas pagal analizuojamą kriterijų 4D grupėje – 99,4 procentai.



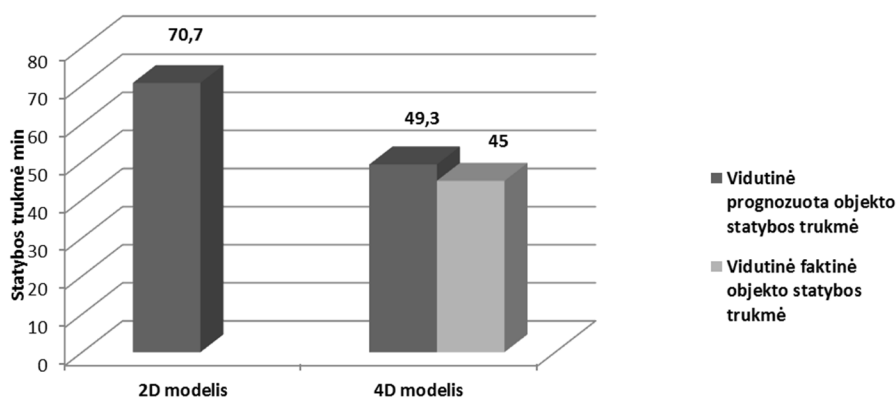
2.4 pav. Statybos objekto išbaigtumas (proc.), naudojant 2D ir 4D modelius
(Reizgevičius *et al.* 2014)

Fig. 2.4. Building object completion using 2D and 4D (Reizgevičius *et al.* 2014)

Lyginant 2D ir 4D grupių dalyvių pasiektą statybos objekto išbaigtumą, galima daryti išvadą, kad 4D modelio naudojimas suteikė galimybę, esant ribotiems laiko ištekliais, pasiekti beveik du kartus didesnę našumą. Lyginant dviejų dalyvių grupių eksperimentų rezultatus nustatyta, kad 4D grupės dalyviai įvykdė 48,6 proc. daugiau statybos objekto apimties nei 2D grupės.

Eksperimento metu, dalyvių buvo prašoma nustatyti galimą statybos trukmę (2.5 paveikslas).

4D grupės dalyviai prognozavo mažesnes laiko sąnaudas, nei 2D grupės dalyviai. Mažiausia planuota statybos trukmė 30 min., ilgiausia – 60 min. 2D grupės dalyvių tarpe trumpiausia prognozuota statybos trukmė 50 min., ilgiausia – 100 min. . Lyginant prognozuojamą statybos trukmę tarp skirtingų grupių dalyvių galima teigti, kad 2D modeliu besinaudojantys dalyviai planuoja daugiau nei perpus (62,1 proc.) didesnes laiko sąnaudas objekto statybai nei 4D.



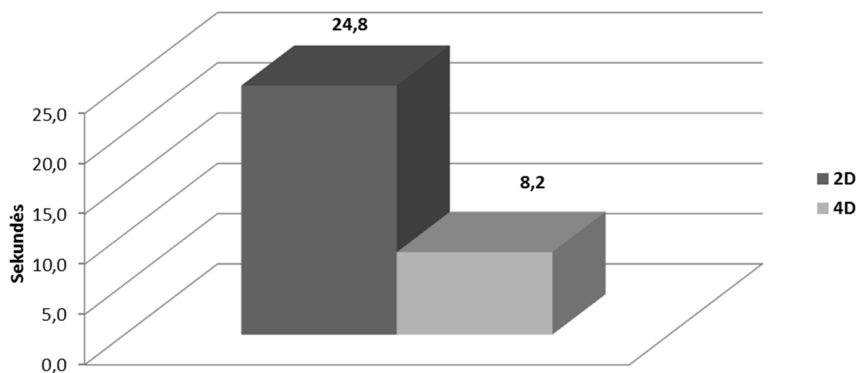
2.5 pav. 2D ir 4D grupių dalyvių prognozuota ir faktinė objekto statybos trukmė, min. (Reizgevičius *et al.* 2014)

Fig. 2.5. The average potential and average actual construction period (min) in groups 2D and 4D (Reizgevičius *et al.* 2014)

Eksperimento metu buvo vertinama per kiek laiko statybos objektą baigia skirtingu modeliu besinaudojančios dalyvių grupės. Eksperimento metu nei viena 2D modelį naudojanti dalyvių pora nebaigė statybos objekto. Vidutinės statybos objekto laiko sąnaudos 4D modelį naudojusią dalyvių porą – 45 min. ir t. y. daugiau nei 4 min. mažesnė trukmė už prognozuotąją. 4D dalyvių tarpe objektas baigtas greičiausiai per 36 min. Didžiausios laiko sąnaudos objekto statybai – 59 min.

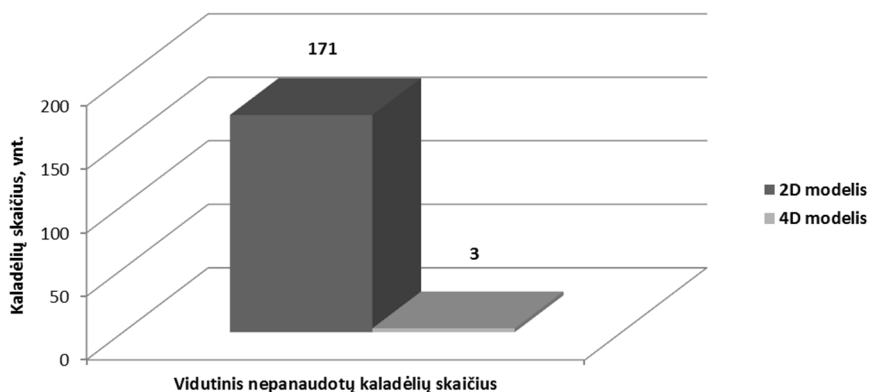
Įvertinus statomo objekto išbaigtumą bei laiko sąnaudas, vertintos laiko sąnaudos pagal sekundes, tenkančias vieno elemento statybai. 2D grupėje mažiausios laiko sąnaudos tenkančios vienam statybos elementui yra 19,1 sek., o didžiausios – 33 sekundės. Vertinant 4D grupės rezultatus, mažiausios laiko sąnaudos, tenkančios vienam elementui yra 6,5 sek., o didžiausios – 10,8 sekundės. Vidutinė trukmė, reikalinga vieno elemento statybai naudojant 2D modelį eksperimento metu buvo 24,8 sek., o naudojant 4D modelį – 8,2 sek. (2.6 paveikslas). Apibendrinant eksperimento rezultatus, galima teigti kad 4D naudojimas pagreitina statybos procesus iki 3 kartų.

Eksperimento metu buvo stebimas statybos proceso metu nepanaudotų kaladėlių skaičius. Skirtingose eksperimento grupėse nepanaudotų kaladėlių skaičius pateiktas 2.7 paveiksle.



2.6 pav. Laiko sąnaudos vienam statybos objekto elementui 2D ir 4D modelyje (Reizgevičius *et al.* 2014)

Fig. 2.6. 2D and 4D model time consumption for one construction object element (Reizgevičius *et al.* 2014)



2.7 pav. Nepanaudotų kaladėlių skaičius 2D ir 4D grupėse (Reizgevičius *et al.* 2014)

Fig. 2.7. The number of unused blocks in 2D and 4D groups (Reizgevičius *et al.* 2014)

Eksperimento metu nustatyta, kad 4D modelio informacija sudaro prielaidas greičiau vykdyti statybos eigą. Tyrimo rezultatai parodė, kad 4D modeliui besinaudojusios dalyvių poros vidutiniškai nepanaudojo tik 3 statybos elementų. Daugiausia nepanaudotų statybos elementų 4D dalyvių tarpe buvo 5 vnt., mažiausias nepanaudotų statybos elementų skaičius – 1 vienetas.

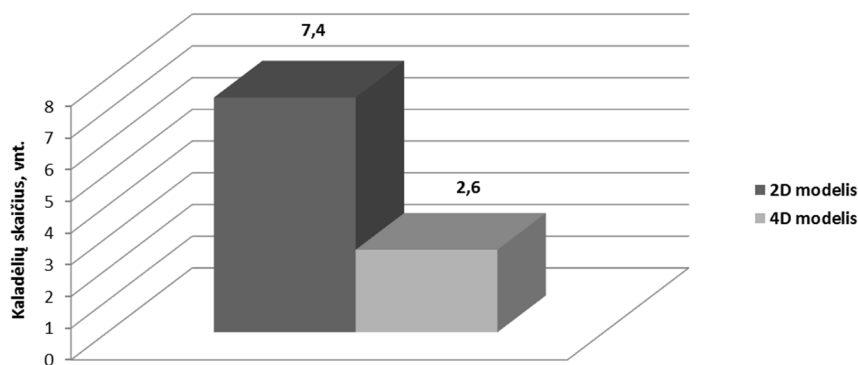
2D dalyvių grupėje vidutiniškai nepanaudotas 171 statybos elementas. Šių dalyvių tarpe didžiausias nepanaudotų statybos elementų skaičius 221 vnt., mažiausias nepanaudotų elementų skaičius 142 vienatai.

Apibendrinant tyrimo rezultatus pagal nepanaudotų statybos elementų skaičių naudojant skirtingus modelius, galima teigti, kad 4D modelio naudojimas padeda greičiau pabaigti statybos objektą.

Eksperimento metu buvo fiksuojamos statybos proceso metu padaromos, tačiau pastebimos ir ištaisomos klaidos. Vidutinis perstatytų statybos elementų skaičius naudojant 2D ir 4D modelius pateiktas 8 paveiksle. 2D dalyvių grupėje mažiausias klaidingai panaudotų ir perstatytų elementų skaičius yra 9 vnt., didžiausias – 34 vnt. Vertinant 4D grupės dalyvių rezultatus pagal analizuojamą kriterijų, pastebėta, kad mažiausias klaidingai panaudotų ir perstatytų elementų skaičius yra 7 vnt., didžiausias – 13 vnt.

Lyginant dviejų dalyvių grupių rezultatus, pastebėta, kad 4D dalyviai statybos procese darė mažiau klaidų nei 2D grupės. Vidutinis koreguotų statybos elementų skaičius 4D grupėje – 10,3 elementai. Tai yra 90,3 proc. mažiau nei 2D grupės dalyvių tarpe. 2D grupėje vidutiniškai buvo klaidingai panaudota ir pakoreguota 19,6 elementai. Apibendrinant galima teigti, kad 4D modelio naudojimas du kartus sumažina klaidų tikimybę ir padeda jas greičiau pastebėti ir pašalinti.

Eksperimento metu buvo vertinama, kiek klaidų statybos metu padaroma ir nepastebima, naudojant 2D ir 4D modelį.

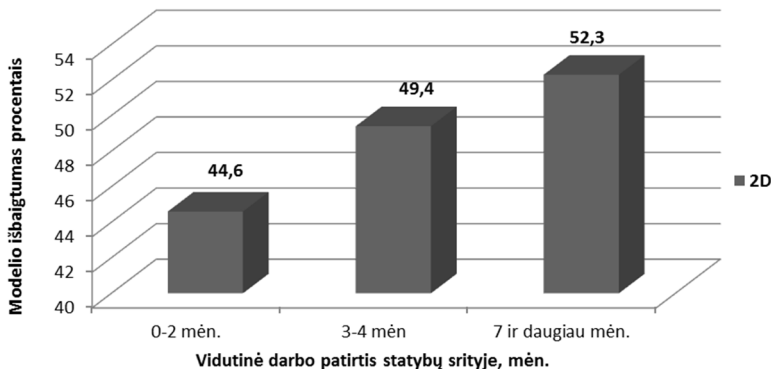


2.8 pav. Klaidingai panaudotų elementų skaičius naudojant 2D ir 4D modelius (Reizgevičius *et al.* 2014)

Fig. 2.8. Wrongly used number of elements using 2D and 4D models (Reizgevičius *et al.* 2014)

Mažiausias klaidingai panaudotų statybos elementų skaičius 2D grupės dalyvių tarpe – 1 vnt., didžiausias – 18 vnt. 4D grupėje viena dalyvių pora nepadarė klaidų statydama objektą. Didžiausias klaidingai panaudotų statybos elementų skaičius 3 vnt. Įvertinus visų grupių dalyvių porų darytas klaidas, pastebėta, kad 4D modeliu besinaudojusi grupė statomame objekte paliko beveik tris kartus mažiau klaidų nei dalyviai, vadovavęsi informacija pateikta 2D formatu.

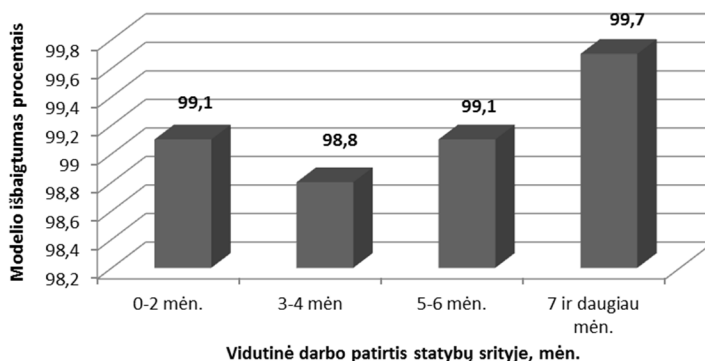
Eksperimento metu dalyviai buvo charakterizuojami pagal vieną subjektyvų požymį, galintį turėti įtakos eksperimento rezultatams – praktinio darbo patirtis statybų srityje. Įvertinus ryšį tarp objekto išbaigtumo ir turimos statybų patirties, pastebėta, kad 2D grupės dalyvių poros, kurių vidutinė praktinė patirtis statybų srityje yra didesnė, pasiekė didesnę statomo objekto išbaigtumą. Dalyviai, kurių praktinio darbo patirtis statybų srityje didesnė nei pusė metų, pastatė 7,7 procentinio punkto daugiau objekto nei neturintys patirties, ar turintys darbo patirtį iki 2 mėnesių.



2.9 pav. Praktinės patirties įtaka statybos procesui 2D modelyje
(Reizgevičius *et al.* 2014)

Fig. 2.9. Practical experience influence on 2D construction process
(Reizgevičius *et al.* 2014)

Įvertinus eksperimento dalyvių turimos praktinio darbo statybos srityje patirties įtaką statomo objekto išbaigtumui, gauti rezultatai parodė, kad didesnę išbaigtumą pasiekė eksperimento dalyviai turintys 5–6 mėn. ir didesnę nei 7 mėnesių patirtį (2.9, 2.10 paveikslai). Eksperimento dalyviai, turintys 3–4 mėnesių praktinio darbo patirtį pasiekė statomo objekto išbaigtumą mažesnę 0,3 procentinio punkto nei mažesnę darbo patirtį turintys dalyviai.



2.10 pav. Praktinės patirties įtaka statybos procesui 4D modelyje
(Reizgevičius *et al.* 2014)

Fig. 2.10. Practical experience influence on 4D construction process
(Reizgevičius *et al.* 2014)

Lyginant ryšį tarp turimos darbo patirties ir satomo objekto išbaigtumo naudojant 2D ir 4D modelius, tiesinės koreliacijos metodas parodė egzistuojančią statistinę priklausomybę. Vertinant 2D modelio dalyvių praktinės patirties ir objekto išbaigtumo ryšį tiesinės koreliacijos koeficientas 0,51, o 4D modelio dalyvių atveju 0,62 patvirtina tiesioginį ryšį.

2.1.4. 2D ir 4D modelių palyginimas atliekant statistinę analizę

Vertinant modelius 2D ir 4D buvo parinktos grupės po 7 studentų poras, kurioms buvo pateiktos modelių 2D ir 4D kaladėlės. Studentų poroms atlikus eksperimentą, buvo vertinami šie eksperimento rodikliai:

- Prognozuojama statybos trukmė min.
- Nepanaudotų kaladėlių skaičius.
- Perstatytų kaladėlių skaičius.
- Klaidingai panaudotų kaladėlių skaičius.
- Modelio išbaigtumas, proc.
- Panaudotų kaladėlių skaičius.
- Laikas vienai kaladėlei

Rezultatų, gautų konstruojant 2D modelius ir 4D modelius grupių vidurkiai pateikti 2.4 lentelėje.

Modelių 2D ir 4D rodiklių vidurkiai yra panašūs tačiau standartiniai nuokrypiai žymiai skiriasi. Todėl norint įvertinti modelius tam, kad šių dviejų imčių rezultatus būtų galima palyginti, atliekamas imčių duomenų standartizavimas. Įvedami pažymėjimai. Tarkim imties, gautos įvertinus modelio

2D rodiklių reikšmės, duomenys pažymimi x_1, x_2, \dots, x_7 , o imties gautos įvertinus modelio 4D rodiklių reikšmės, duomenys pažymimi y_1, y_2, \dots, y_7 .

Imčių duomenis standartizuosime taikydami atitinkamai formules:

$$z_{xi} = \frac{x_i - \bar{x}}{s_x}, \quad (2.20)$$

$$z_{yi} = \frac{y_i - \bar{y}}{s_y}, \quad (2.21)$$

čia \bar{x} – modelio 2D rodiklių reikšmių imties empirinis vidurkis, s_x – modelio 2D rodiklių reikšmių imties empirinis standartinis nuokrypis \bar{y} – modelio 4D rodiklių reikšmių imties empirinis vidurkis, s_y – modelio 4D rodiklių reikšmių imties empirinis standartinis nuokrypis.

2.4 lentelė. Rezultatų, gautų konstruojant 2D modelius ir 4D modelius grupių vidurkiai (Reizgevičius *et al.* 2014)

Table 2.4. Averages of experimental results (group of the 2D model and group of the 4D model) (Reizgevičius *et al.* 2014)

Rodikliai	2D modeliui	4D modeliui
Prognozuojama statybos trukmė mėnesiais	70,7	49,3
Nepanaudotų kaladėlių skaičius	171,0	3,0
Perstatytų kaladėlių skaičius	19,6	10,3
Klaidingai panaudotų kaladėlių skaičius	7,4	2,6
Modelio išbaigtumas proc.	48,2	99,1
Panaudotų kaladėlių skaičius	159,0	327,4
Laikas vienai kaladėlei	23,3	8,2

Pritaikius formules (2.20) ir (2.21) gautos imčių standartizuotos reikšmės pateiktos 2.5 lentelėje.

Turint abiejų imčių standartizuotas reikšmes galima statistiškai neprieštarinai palyginti modelių 2D ir 4D rodiklių reikšmes.

Palyginimo išvados yra tokios:

4D modelio atveju, prognozuojama statybos trukmė yra statistiškai mažesnė nei modelio 2D atveju, analogiškai ir nepanaudotų kaladėlių skaičius yra statistiškai mažesnis nei modelio 2D atveju.

2.5 lentelė. Imčių standartizuotos reikšmės (Reizgevičius *et al.* 2014)

Table 2.5. Experiential standard means (Reizgevičius *et al.* 2014)

Rodikliai	2D modelis	4D modelis
Prognozuojama statybos trukmė mėnesiais	-0,01	-0,19
Nepanaudotų kaladėlių skaičius	1,48	-0,58
Perstatytų kaladėlių skaičius	-0,77	-0,52
Klaidingai panaudotų kaladėlių skaičius	-0,95	-0,58
Modelio išbaigtumas proc.	-0,34	0,23
Panaudotų kaladėlių skaičius	1,30	2,16
Laikas vienai kaladėlei	-0,71	-0,53

Modelio 4D atveju perstatytų kaladėlių skaičius, klaidingai panaudotų kaladėlių skaičius, modelio išbaigtumas procentais, panaudotų kaladėlių skaičius ir laikas skirtas vienai kaladėlei – visi šie matavimai yra statistiškai didesni nei modelio 2D atveju.

2.1.5. Modelių 2D ir 4D efektyvumo vertinimas, taikant daugiatislius sprendimo priėmimo metodus

Modelių 2D ir 4D efektyvumui įvertinti buvo atliekama daugiakriterinė analizė. Šiai analizei buvo pasirinkti trys daugiatisliai sprendimo priėmimo metodai TOPSIS, SAW ir COPRAS (2.7 lentelė).

2.6 lentelė. Sprendimo priėmimo matrica (Reizgevičius *et al.* 2014)

Table 2.6. Initial decision-making matrix (Reizgevičius *et al.* 2014)

Rodikliai Alternatyvos	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
2D	70,71	171,00	19,57	7,43	48,17	159,00	23,33
4D	49,29	3,00	10,29	2,57	99,10	327,43	8,23
min / max	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>min</i>
Integruoti reikšmingumai	0,180	0,143	0,201	0,131	0,144	0,102	0,099

2.7 lentelė. Modelių 2D ir 4D racionalumo rezultatai metodais TOPSIS, SAW ir COPRAS ir rangavimas (Reizgevičius *et al.* 2014)

Table 2.7. Ranking alternatives to the results of 2D and 4D models using TOPSIS, SAW and COPRAS methods (Reizgevičius *et al.* 2014)

Alternatyvos	Metodų racionalumai			Metodų rangai		
	TOPSIS	SAW	COPRAS	TOPSIS	SAW	COPRAS
2D	0,3004	0,529	0,212175	2	2	2
4D	0,6996	0,905	0,234825	1	1	1

Alternatyvos: 2D ir 4D modeliai. Alternatyvos vertinamos pagal septynis rodiklius: prognozuojama statybos trukmė mėnesiais (R1); nepanaudotų kaladėlių skaičius (R2); perstatytų kaladėlių skaičius (R3); klaidingai panaudotų kaladėlių skaičius (R4); modelio išbaigtumas procentais (R5); panaudotų kaladėlių skaičius (R6); laikas vienai kaladėlei įdėti (R7) (2.6 lentelė).

Rezultatai gauti daugiataksliais sprendimo priėmimo metodais leidžia teigti, jog modelis 4D yra racionalesnis šešių rodiklių atžvilgiu.

2.2. BIM panaudojimas statybos inžinerijos studijose

BIM (Building Information Modeling) projektavimas – labai dažnai analizuojama sritis statybos inžinerijos ir vadybos moksliniuose leidiniuose. BIM (pastato informacinis modeliavimas) – tai naujos kartos projektavimo būdas.

Šiandieninė statybos pramonė ypač reikli, specialistas privalo išmanyti visas statybos sritis, gebėti dirbti su sudėtingomis daugiafunkcinėmis kompiuterinėmis programomis. BIM projektavimas turi daug privalumų, kurių dėka tradicinis projektavimo modelis pamažu praranda savo vertę (projektuojama braižant ne linijomis, o jau elementais, kurie turi savo parametrus, susiejami įvairūs pastato statybos proceso vykdymui, statiniui turintys įtakos veiksniai: laikas, sąnaudos, apšvietimas, geografinė padėtis, statybos medžiagos, jų kiekiai). Vienas didžiausių BIM privalumų – tai lengvas klaidų šalinimas. Visa informacija kaupiama viename modelyje, atsiradus klaidai, ją ištaisyti paprasta, pakanka tai padaryti vienoje vietoje. Pastato informacinis modeliavimas išplečia įprastą 2D sąvoką. Jis apima 3D brėžinius, laiką (4D), sąnaudas (5D). BIM yra reikalingas projektavime, kai kuriamas pilnas kompleksinis projektas. Naudojant pastato informacinį modelį tik atskiroms dalims, nenaudojant centrinio failo, gaišamas laikas keičiant programų formatus, dažnai net perbraižant brėžinius.

Reizgevičius, Reizgevičienė (2012) teigia, kad informacijos pasidalijimas tarp įvairių sričių specialistų padeda geriau išspręsti kilusias problemas ir tobulinti skirtingus įgūdžius. 4D projektavimas gali padėti padidinti komunikacijos efektyvumą ir sumažinti interpretavimo galimybę visiems suinteresuotiems statybos projekto dalyviams. Statybos pramonė reikalauja labai daug informacijos, dažnai ji apibūdinama, kaip sunkiai prisitaikanti prie naujausių informacinių technologijų.

Užsienio autoriai pabrėžia, jog pastato informacinio modelio mokymas turėtų atsirasti kaip atskiras studijų dalykas universitetuose. Ši tema aktuali ir analizuota daugelio autorių. Woo (2006) siūlo pergaltoti esamus studijų modulius ir BIM įtraukti į studijų turinį. Tačiau svarbi ne tik studentų, bet ir statybos kompanijų nuomonė sprendžiant šį klausimą. Dean (2007) tiria statybos įmonių specialistų poreikį, kurie išmanytų BIM projektavimą. H. L. Camps (2008) nagrinėja studentų išsilavinimo problematiką, studijų modulių pakeitimą, kurie pagerintų visapusiškas studentų profesines žinias. Barison, Santos (2010) apžvelgia BIM mokymo ypatumus viso pasaulio aukštosiose mokyklose. Joannides *et al.* (2012) analizavo BIM įtraukimo galimybes į akredituotas architektūros ir statybos inžinerijos studijas JAV.

Lietuvoje 2002 metais privačiomis lėšomis buvo suburta statybos profesionalų iš mokslo ir verslo komanda bei pradėtos taikyti BIM technologijos. Migilinskas (2012) nagrinėja BIM technologijų taikymą virtualiam statybos projekto vystymui, aptaria dėstomus BIM taikymo modulius VGTU.

Būtų labai įdomu, kokia situacija Lietuvos aukštosiose mokyklose, kokie studentų įgūdžiai BIM projektavimo srityje. Tyrimui pasirinkta Šiaulių universiteto Technologijos fakulteto statybos inžinerijos studentų tiriamoji grupė. Pagal tyrimo rezultatus įvertintos studentų žinios ir įgūdžiai BIM srityje ir daromos išvados, ar reikalingas naujų BIM projektavimo modulių įvedimas statybos inžinerijos studijose. Daroma prielaida, jog BIM disciplinų išmanymas pagerintų studijų kokybę aukštosiose mokyklose. Studijos būtų visapusiškos, susietos atskiros disciplinos sukurtų realų statybos pramonės vaizdą. Baigę universitetą studentai geriau įsiliėtų į reiklį šiandieninę darbo rinką.

BIM technologijos plačiai nagrinėjamos užsienyje, tačiau Lietuvoje tai pakankamai nauja sritis. Lietuvoje BIM pradėtas naudoti tik 2002 m, o pasaulyje jau nuo 1987 m. Pirmieji taikyti virtualią statybą pradėjo „Graphisoft“ kompanija. BIM metodą ši kompanija įdiegė „ArchiCAD“ grafinėje programoje.

Pastato informacinis modeliavimas išsiskiria privalumais: greitesnis ir efektyvesnis procesas – projektavimo procesą galima pagreitinoti net 7%; padidėja sąnaudų skaičiavimo tikslumas (< 3 %); vienas didžiausių ekonominės dalies privalumų – trumpesnis sąmatos kūrimo laikas net 80%; sumažėja

nenumatyto išlaidų statybos procesui net 40 % (SUCIFE 2007). Howell, Batcheler (2005) išskiria tokius BIM privalumus: 3D pastato modelio sukūrimas leidžia automatiškai gauti planų, pjūvių, fasadų vaizdus, lengvesnė statybos objekto priežiūra, dirbant su vienu modeliu, nebekyla nesutapimų tarp projektuojamų elementų, dirbant viename modelyje, informacija programoje atnaujinama automatiškai, ją lengva generuoti. Be to, modelis pasižymi lengvu klaidų šalinimu – visa informacija kaupiama viename modelyje, atsiradus klaidai, ją ištaisyti paprasta ir pakanka tai padaryti vienoje vietoje. Esant konfliktinei situacijai lengviau surandamas kompromisas pateikiant argumentuotus sprendimus.

2 skyriuje autorius kartu su bendraautoriais nagrinėja BIM technologijų įtaką darbo efektyvumui. Vertinimui buvo pasirinkti 100 daugiaaukščių pastatų (dangoraižių). Senesnių pastatų, kurie pastatyti iki 1987 m (kai pasaulyje buvo pradėtos naudoti BIM technologijos) vidutinė statybų trukmė 2,7 metai, kai tuo tarpu pastatams naudojant BIM technologijas statybos trukmė siekia vidutiniškai 4,5 metų. Gauti netikėti rezultatai, kad pastatų, kurių statybos pasibaigė iki 1990 ir prasidėjo ne vėliau nei 1987 metais, per metus vidutiniškai pastatyta 82 760 m², kai tuo tarpu naujosios statybos, kurioms naudojamos BIM technologijos statybos atsilieka vidutiniškai 30000 m² per metus ir siekia tik 52300 m². Statybų greitis per paskutinius metus sumažėjo daugiau nei 36 %. Atlikta regresinė analizė, kurios pagalba išsiaiškinta, kad visais nagrinėtais atvejais determinacijos koeficientas mažas ir rodo silpną priklausomybę (maksimalus determinacijos koeficientas – 0,2244, mažiausias – 0,0352, kurie rodo patikimą, tačiau silpną ryšį).

2.2.1. BIM projektavimo modulių įtraukimas į studijų programas

Statybos pramonė reikalauja, kad šiandien statybos inžinieriai sugebėtų ne tik projektuoti, braižyti brėžinius, atlikti įvairių konstrukcijų skaičiavimus kompiuterinių programų pagalba, bet ir gebėtų susikurti tam tikrą simuliaciją ar vizualizaciją. BIM integravimas į šiuolaikines statybos inžinerijos studijas būtų ypač svarbus. Sudėtingų programų valdymas tampa ne tik privalumu, tačiau ir būtinybe. BIM disciplinų išmanymas smarkiai pagerintų studijų kokybę aukštosiose mokyklose. Studijos būtų visapusiškos, susietos atskiros disciplinos sukurtų realų statybos pramonės vaizdą (pvz., architektūra ir statybos ekonomika: pastato projektavimas integruojamas kartu su sąmatos skaičiavimu). Baigę universitetą studentai geriau įsiliėtų į ypač reiklį šiandieninę darbo rinką.

Užsienio autorių nuomone, BIM turėtų būti mokomi architektūros, statybos inžinerijos, statybos vadybos studentai. Pirmiausia, tai susiję su skirtingais žinių priėmimo mokymosi metodais. Dauguma žmonių mokosi klausydami, regėdami,

ir atlikdami tam tikrą pasikartojantį veiksmą, funkciją. BIM studijų metu pateikiama vaizdinė medžiaga įsisiavinama lengviau. Nors daugelis studentų geriausiai mokosi ir įsimena vaizdinę medžiagą, labai mažai vaizdinės medžiagos pateikiama paskaitų metu. Dažniausiai būsimieji inžinieriai klausosi paskaitų ir skaito pateiktą medžiagą (Sampaio *et al.* 2010). Autorių nuomone, mokymo metodai turėtų būti keičiami, studijoms naudojami nauji grafiniai įrankiai. 3D modelio naudojimas paskatintų studentus suvokti teoriją, kuri mokoma auditorijose.

BIM išmanymas pagreitina visus statybos procesų etapus. Greitesnis ir efektyvesnis projektinių pasiūlymų pateikimas (dėl aiškių vizualizacijų, pastato simuliacijų pateikiamų užsakovui); projektavimo procesas (kuriamas vienas pastato informacinis modeliavimas, gaunami brėžiniai iš centrinio failo, sutrumpėja taisymo procesas, klaidos taisomos automatiškai visose centrinio failo dalyse), spartesnė pastato statyba (naudojant pastato informacinį modelį, įvedant laiko parametrus, optimizuojamas statybos laikas, sudaromi efektyviausi kalendoriniai grafikai). Architektūros ir statybos inžinerijos mokymas turi būti efektyvesnis, kadangi iš studentų tikimasi, kad bus įvykdomi didesni darbų kiekiai per trumpesnę laiką (Camps, 2008). Projektavimo procesas, mokomas studijų metu, autoriaus teigimu, atima daug laiko, pastangų, o studentas dažnai „įstringa“ kasdieniškuose braižymo procesuose vietoj to, kad nagrinėtų skirtingus projekto sprendinius ir mokytųsi realaus darbo pagrindų. BIM padėtų studentams nagrinėti projektus giliau, nes turint vieną modelį, galima jį panaudoti apdorojant konstrukcijų dokumentus, nagrinėti konstrukcijas, skaičiuoti sąmatas, simuliuoti pastato elgseną įvairių poveikių metu. Camps (2008) pabrėžia, kad BIM – tai integruotas procesas, todėl jis ypač pagerintų visapusiškas studento žinias.

Įtraukus BIM projektavimo disciplinas į studijų programas, būtų anksčiau įsisiavinama reikalinga informacija, įgijama praktika, sutaupoma laiko ir lėšų specialistams apmokyti darbo vietoje, nereikėtų organizuoti papildomų apmokymo kursų. Woo (2006) nurodo, kad tinkamai sudaryti BIM kursai aprūpintų studentus žiniomis, kurios reikalingos dabartinei industrijai, paruoštų sėkmingai karjerai architektūros ir statybos inžinerijos srityse. Vietoje atskirų kursų, autorius siūlo pergaltvoti esamus studijų modulius ir BIM įtraukti į studijų turinį. Dean (2007) atliko tyrimą, ar BIM turėtų būti mokoma kaip modulis universitetuose statybos vadybos studentams. Išvadose autorius teigia, jog pastato informacinio modeliavimo studijų modulis privalo atsirasti aukštojo mokslo studijų rengimo programoje, kadangi 70 % apklaustųjų kompanijų pabrėžė, kad jau naudojami BIM arba ketina tai daryti greitai laiku. 75 % apklausos dalyvių teigė, jog priimdami į darbą laiko privalumu pastato informacinio modeliavimo išmanymą.

Pasak Irizarry *et al.* (2013) 2D brėžiniai daugiausia naudojami kaip pedagoginis įrankis mokyti Statybos vadybos studentus projekto valdymo įgūdžių. Autoriai išskiria tokius įgūdžius: įvairūs skaičiavimai, konstrukcijų veikimo, saugaus darbo analizės statybvietėje, darbų grafikai. 2D brėžinių supratimas priklauso nuo studentų pasiruošimo lygio ir patirties. Autorių teigimu, brėžiniai tampa daug sudėtingesni, net patyrę profesionalai dažnai nebesupranta 2D brėžinių, o tai prailgina statybos projektą, padidina jo kainą.

JAV aukštosiose mokyklose siekiama BIM projektavimą įtraukti į architektūros ir statybos studijas. Šalyje vyksta daug tyrimų BIM srityje, siekiama išsiaiškinti pramonės ir akademinio mokslo bendradarbiavimo lygį. Joannides *et al.* (2012) išskiria, jog aukštosios mokyklos, kuriose yra mokoma architektūros specialybių, labiau linkusios į studijų programas įtraukti BIM projektavimo disciplinas, o inžinerinės aukštosios mokyklos labiau naudoja 4D ir 5D projektavimo programas. Sacks, Barak (2010) teigimu, CAD programų valdymo gebėjimas praranda svarbą, kadangi norint išmokti naudotis BIM programomis, nereikalinga mokėti naudotis CAD, o kai išmokstama valdyti BIM, CAD programos tampa nebenaudingos.

Užsienio autorių tyrimai rodo, kad BIM integravimas vyksta labai lėtai. Dažniausiai studijų programoje atsiranda tik vienas BIM modulis. Barison, Santos (2010) tyrimas parodo, kad 90 % universitetų BIM studijas įtraukia tik kaip vieną disciplinos dalyką, 7 % universitetų integruoja BIM kaip tarpdisciplininį dalyką ir 3 % naudoja nuotolinį bendradarbiavimą. Jų tyrimas parodė, kad sudėtingiausia norint BIM įtraukti į mokymo procesą yra integruoti BIM discipliną į įvairias nusistovėjusias sritis (studijų programas). Be to, BIM įtraukimas į studijų programas yra didelis iššūkis, nes būtina koordinuoti 3 keičiamus sektorius: dėstytojų pasiruošimą, mokymo programos ir universiteto pasikeitimą. Barison, Santos (2010) apžvelgia skirtingų 8-ių JAV ir Airijos aukštųjų mokyklų BIM modulių integravimą. Autoriai išskiria, jog norint pastato informacinį modelį įtraukti į studijų programas labiausiai trukdo instituciniai apribojimai. Lietuvos aukštųjų mokyklų architektūros ir statybos inžinerijos studijų programų laukia dideli pasikeitimai. Vienas iš jų – BIM modulių įvedimas į dėstomų dalykų sąrašą.

2005–2006 mokslo metais Vakarų Ilinojaus universiteto Inžinerijos technologijų fakultetas pasiūlė projektavimo kursus (su „Autodesk Revit Building“ programa) savo baigiamųjų kursų studentams. Kursai buvo skirti jau turintiems žinių projektavimo srityje, mokantiems naudotis „AutoCAD“ programa. Iš studentų buvo reikalaujama dalyvauti visose paskaitose, laboratorinių darbų užsiėmimuose. Kursai buvo sudaryti iš įvadinio paskaitų, kuriose buvo mokomi „Autodesk Revit Building 8.0“ versijos pagrindai ir individualios projekto dalies kūrimo. J. H. Woo (2006) išskiria šiuos studentų pastebėjimus pasibaigus semestru: „AutoCAD“ projektavimui atima daug

daugiau laiko nei „Revit“; pasikartojančių braižymo funkcijų smarkiai sumažėja, kai galima braižyti iš karto statinio komponentais; pakeitus bet kuri komponentą ar pridėjus naują automatiškai atnaujinami visi brėžiniai; naudingas programos klaidų žinutės išmetimas esant komponentų netinkamam susikirtimui; galimybė kurti 3D brėžinius, juos vizualizuoti; sukurta gera įvairių standartinių konstrukcijų biblioteka (laiptai, langai, kt.), kurios parametrus galima lengvai keisti.

Nepaisant BIM projektavimo privalumų, atsiranda ir įvairių nesklandumų dėl programų sudėtingumo. Woo (2006) išskiria, jog yra sunku įsisavinti skirtingus įrankius, o mažai patirties turintys asmenys neturi pakankamai žinių apie kai kuriuos konstrukcinius sprendimus (pamatus, sienas). Autoriaus nuomone, susiduriama su problema, kai pati programa turi daug techninės informacijos, kuri gali būti įsisavinta tik turint atitinkamos patirties statybų sektoriuje. Besimokantiems studentams kyla neaiškumų su atitinkamomis konstrukcijomis, sujungimais, nes programa kai kurias funkcijas atlieka pati, todėl pradingsta galimybė pačiam mokytis ir įgyti patirties, susiduriant su sudėtingu sprendimu (sienos – karnizo mazgas). Iš studentų reikalaujama kurti 3D brėžinius, vizualizuoti skirtingus pastato konstrukcinius elementus. Dažnai mažiau patirties turintys studentai gaišta daugiau laiko 3D brėžinių plėtojimui. 3D modelio naudojimas padeda išspręsti tokius sunkumus. BIM įrankių naudojimas ir gausus duomenų 3D modelis pagerina studentų konstrukcijų proceso suvokimą (Azhar *et al.* 2010).

Galbūt situacija Lietuvoje keičiasi gerąja linkme sparčiai, tačiau duomenų apie tai labai mažai. Migilinskas (2012), vertindamas pastato informacinį modelį, įvardija, jog BIM neveikia automatiškai. BIM technologija automatizuoja informacijos surinkimo, apdorojimo, sisteminimo, saugojimo ir naudojimo procesą – tokiu būdu automatizuodama visą objekto projektavimo, vykdymo ir valdymo procesą. Atsiradus „Skaitmeninės statybos“ ir BIM taikymo moduliams VGTU, autoriaus nuomone, auginama nauja profesionalų karta. Per metus „Skaitmeninės statybos“ ir „Kompiuterinio projektavimo“ pagal BIM išmoksta daugiau nei 150 studentų.

2.2.2. Pastato informacinio modeliavimo panaudojimo statybos inžinerijos studijose vertinimo tyrimas

Siekiant išsiaiškinti studentų žinias ir įgūdžius BIM panaudojimo srityje ir BIM naudojimo poreikį aukštajame moksle studentų požiūriu, buvo apklausti 38 Šiaulių universiteto Technologijos fakulteto Statybos inžinerijos studentai. Tyrime dalyvavo dieninių studijų studentai, kurių daugumą (84 proc.) sudarė vyrai. Tyrime dalyvavo 16 proc. moterų. Apklaustųjų amžius 20–26 metai. Didžiausia dalis (45 proc.) apklaustųjų studijuoja trečiame kurse, šiek tiek

daugiau nei penktadalis (21 proc.) antrakursiai ir šiek tiek daugiau nei trečdalis apklaustųjų (34 proc.) yra ketvirtakursiai. Studentų anketinė apklausa buvo atiekama rugsėjo mėnesį, todėl pirmakursiai, tik pradėję studijuoti statybos inžineriją nebuvo apklausti.

Respondentų paprašius įvertinti savo kompiuterinio projektavimo įgūdžius, daugiau nei du trečdaliai (77 proc.) nurodė, kad „geba braižyti 2D brėžinius naudojant skirtingus linijų storius, braižyti skirtinguose sluoksniuose, naudotis „layout“ komanda. Mažiau nei penktadalis (18 proc.) nurodė, kad „geba braižyti 3D brėžinius“. Penki procentai apklaustųjų nurodė turintys minimalius kompiuterinio projektavimo įgūdžius, t. y. „gebantys braižyti 2D brėžinius“. Gauti studentų atsakymai leidžia daryti išvadą, kad antro–ketvirto kurso studentai jau turi gebėjimų ir žinių kompiuterinio projektavimo srityje ir yra tinkami respondentai atliekamame tyrime.

Tyrimo metu respondentų buvo prašoma nurodyti, kokią kompiuterinio projektavimo programą jie naudoja savo asmeniniame kompiuteryje. Respondentų atsakymai pateikiami 2.8 lentelėje.

Respondentai nurodė 15 skirtingų kompiuterinio projektavimo programų, kurių tarpe populiariausios „AutoCAD“ programos. Jas savo asmeniniuose kompiuteriuose naudoja 35 respondentai, t. y. net 92 proc. Iš „AutoCAD“ programų daugiausia apklaustųjų naudojamos „AutoCAD“ 2006, „AutoCAD 2011“, „AutoCAD 2013“ programos. 11 proc. apklaustųjų nurodė asmeniniuose kompiuteriuose naudojantys BIM kategorijai priskiriamą programą „Sketch up“ („Google SketchUp“ autorių pastaba).

Tyrimo metu respondentų buvo klausiama, ar yra tekę susidurti su BIM programomis. Beveik du trečdaliai (58 proc.) apklaustųjų nurodė, jog yra tekę. Respondentų buvo prašoma nurodyti įvairių BIM programų žinojimo, gebėjimo jomis naudotis lygį. 2.11 paveiksle pateikiama informacija apie respondentų žinias ir įgūdžius, susijusius su BIM programomis.

„Bentley“ BIM respondentų buvo nurodyta kaip visiškai jiems negirdėta programa. Menkai žinomomis programomis įvardintos „Nemetchek AallPlan“ (negirdėta 97,4 proc. apklaustųjų), „Tekla Structures“ (negirdėta 86,8 proc. apklaustųjų), „Digital project“ (negirdėta 84,2 proc. apklaustųjų) ir „Revit“ BIM (negirdėta 76,3 proc. apklaustųjų). Respondentai nurodė penkias BIM programas, kurių pavadinimai jiems yra pažįstami. Daugiausia respondentams yra tekę girdėti apie „ArchiCAD“ (57,9 proc.), „Google SketchUP“ (34,2 proc.). Tyrimo metu respondentai nurodė keturias BIM programas, kuriomis gebama naudotis pradedančiojo lygmenyje. Tai „AutoCAD“, „Google SketchUP“, „Revit“ BIM, „ArchiCAD“. Apklaustųjų buvo prašoma nurodyti, kuriomis BIM programomis jie geba naudotis praktiškai, t. y. daugiau nei paradedančiojo vartotojo lygmuo. Daugiau nei du trečdaliai (71,1 proc.) respondentų nurodė,

kad praktiškai geba naudotis programa „AutoCAD“. Beveik penktadalis (18,4 proc.) apklaustųjų teigė gebantys naudotis „Google SketchUP“ programa.

2.8 lentelė. Respondentų naudojamos kompiuterinio projektavimo programos (Reizgevičius *et al.* 2013a)

Table 2.8. Computer-aided design programs used by respondents (Reizgevičius *et al.* 2013a)

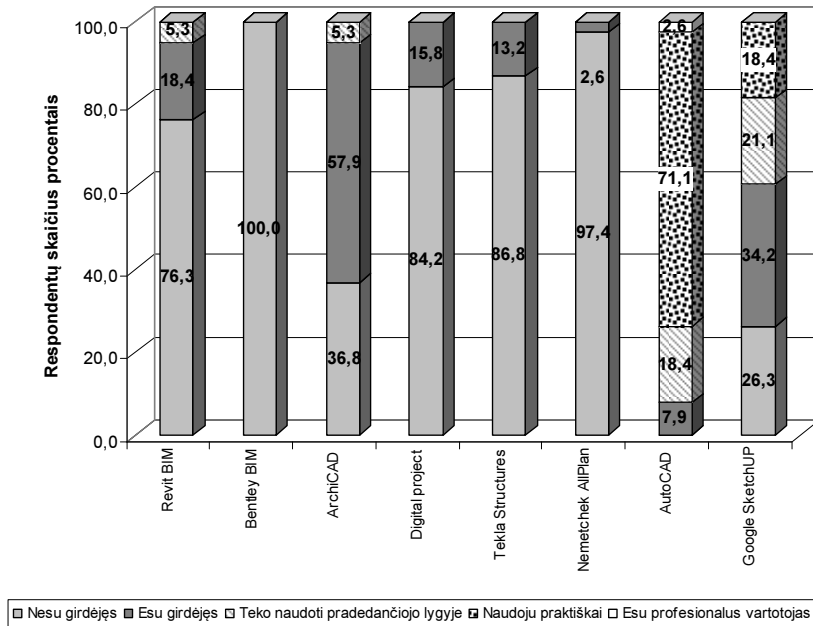
Projektavimo programinė įranga	Naudojančių respondentų skaičius	Iš viso	Iš viso
„Autocad 2003“	1	32	35
„Autocad 2006“	5		
„Autocad 2007“	4		
„Autocad 2008“	2		
„Autocad 2009“	1		
„Autocad 2010“	4		
„Autocad 2011“	5		
„Autocad 2012“	4		
„Autocad 2013“	5		
„Autocad 2014“	1		
„Autocad architecture 2010“	1	3	
„Autocad architecture 2011“	1		
„Autocad architecture 2013“	1		
„Sketch up“	4	4	4
„Revit 2011“	1	1	1
Iš viso:			40

Tik viena BIM programa buvo nurodyta kaip naudojama profesionaliame lygmenyje. 2,6 proc. respondentų nurodė gebantys profesionaliai dirbti programa „AutoCAD“.

Apibendrinant apklausoje dalyvavusių studentų žinias ir gebėjimus BIM programų srityje, galima daryti išvadą, kad esant gana daug įvairių BIM programų populiariausiomis studentų tarpe yra „AutoCAD“ ir „Google SketchUP“. Likusios programos yra menkai žinomos arba iš viso negirdėtos didžiajai daliai tyrime dalyvavusiųjų studentų.

Prieš tai aptartuose studentų atsakymuose nustatytos gana siauros žinios ir gebėjimai BIM programų srityje leido formuluoti išvadą / siūlymą, kad studijose reikalinga platesnė BIM programų analizė ir panaudojimas neapsiribojant tik „AutoCAD“ programos panaudojimu. Tokį požiūrį patvirtino ir respondentų

nuomonė apie norą pasirinkti BIM projektavimo modulį (dalyką) studijų metu, jei būtų tokia galimybė. Net 89 proc. apklaustųjų teigė, kad rinktųsi BIM projektavimo modelį, jei toks būtų dėstomas aukštojoje mokykloje.



2.11 pav. Respondentų žinios ir gebėjimai BIM srityje (Reizgevičius *et al.* 2013a)
Fig. 2.11. Respondents' knowledge and skills of BIM (Reizgevičius *et al.* 2013a)

Siekiant išsiaiškinti BIM programų naudojimo studijų procese poreikį, buvo prašoma išsakyti savo nuomonę, ar gebėjimas naudotis įvairiomis BIM programomis, padidintų įsidarbinimo statybų sektoriuje galimybes. 86 proc. apklaustųjų mano, kad minėti įgūdžiai padidintų įsidarbinimo galimybes. 11 proc. apklaustųjų neturi tvirtos nuomonės šiuo klausimu. Neigiamą požiūrį išsakė 3 proc. apklaustųjų.

Tyrimo metu buvo siekiama išsiaiškinti studentų požiūrį į ateities perspektyvas, susijusias su šiuo metu plačiai naudojamu 2D projektavimu ir BIM technologijomis. 8 proc. respondentų mano, kad gebėjimas braižyti 2D brėžinius ateityje nebebus reikalingas, nes jie statybos sektoriuje ateityje nebebus naudojami, t. y. bus pakeisti informatyvesniais BIM modelio brėžiniais. 53 proc. apklaustųjų mano, kad 2D brėžiniai išliks populiarūs ir ateityje, kadangi kai kurių statybos procesų dalyvių darbas neįmanomas naudojantis apkrautu BIM modeliu ar erdvinio tipo brėžiniais. 39 proc. apklaustųjų pritaria nuomonei,

kad 2D brėžiniai ateityje bus reikalingi, tačiau nekuriami atskirai, gaunami iš centrinio BIM modelio failo.

Respondentų buvo prašoma įvardinti, kokios BIM projektavimo savybės juos skatintų naudotis šiomis programomis. Apklaustųjų atsakymai pateikti 2.9 lentelėje. Respondentai pagrindinėmis savybėmis, skatinančiomis naudotis BIM nurodė naudojimo paprastumą, lengvą informacijos dalijimąsi esant centriniam failui, galimybę automatiškai atlikti įvairias analizes (pastato apšvietimo, padėties pasaulio šalių atžvilgiu ir kt.), projektų aiškumą ir lengvą suvokimą dėl tikslų vizualizacijų.

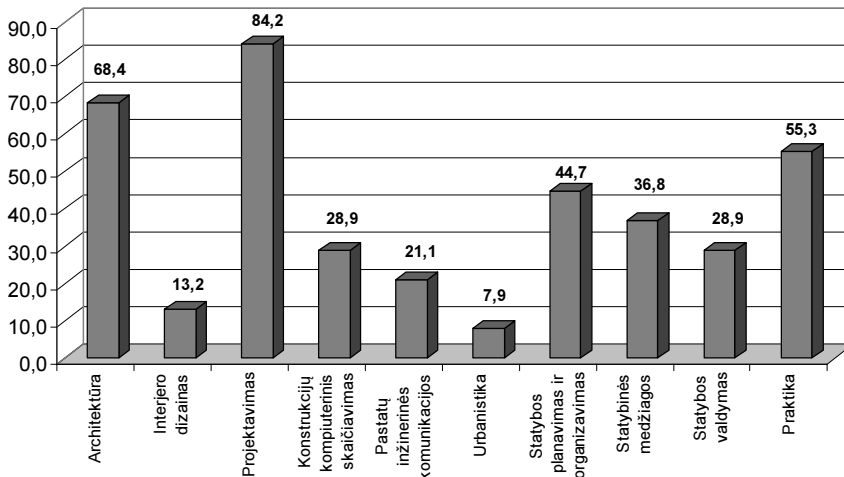
Apibendrinant tiek studentų žinias ir įgūdžius BIM srityje, tiek jų pačių išreiškiamą BIM programų poreikį, galima teigti, kad įvairesnių BIM programų žinių ir įgūdžių įgijimui poreikis aukštajame statybos inžinerijos srities moksle yra. Tai patvirtina studentų minimalios žinios apie skirtingas BIM programas ir gebėjimas jomis naudotis skirtinguose lygmenyse bei pačių studentų išsakomas poreikis, vertinant ateities perspektyvas ir darbo rinkos poreikius.

2.9. lentelė. BIM projektavimo savybės, skatinančios rinktis BIM programas (Reizgevičius *et al.* 2013a)

Table 2.9. BIM design properties, which stimulate to choose BIM programs (Reizgevičius *et al.* 2013a)

BIM projektavimo savybės	Respondentų skaičius, procentais
Naudojimo paprastumas, lengvas informacijos dalijimasis esant centriniam failui	65,8
Galimybė automatiškai atlikti įvairias analizes (pastato apšvietimo, padėties pasaulio šalių atžvilgiu ir kt.)	57,9
Projektų aiškumas ir lengvas suvokimas dėl tikslų vizualizacijų	57,9
Geresnis surenkamų elementų suprojektavimas (dėl nuspėjamų sąlygų turint virtualų pastato modelį)	39,5
Tikslesnis darbų kiekio apskaičiavimas	39,5
Platesnis inovacijų panaudojimas	31,6
Daugkartinis modelio panaudojimas	31,6
Esamų statybos standartų, kodeksų įdiegimas BIM programose	28,9
Simuliacijų sukūrimas	28,9
Automatinis duomenų apdorojimas (skaitmeninė informacija gali būti panaudota tolesniems procesams vykdyti, konstrukcinių sistemų gamybai, montavimui)	26,3
Nesudėtingas atnaujinimas	15,8
Galimybė panaudoti operatyvinę informaciją įrenginių valdyme	5,3

Siekiant išsiaiškinti, kokios priežastys skatina studentus domėtis įvairesnėmis BIM programomis, jei jiems būtų suteikiama tokia galimybė studijuojant aukštojoje mokykloje, buvo prašoma išvardinti, kokius studijų dalykus jie laiko statybos inžinerijos studijoms reikalingiausiais ir kokiems studijų dalykams, šiuo metu dėstomiems jų aukštojoje mokykloje, jų nuomone labiausiai galėtų būti pritaikomos BIM programos (2.12 paveikslas).

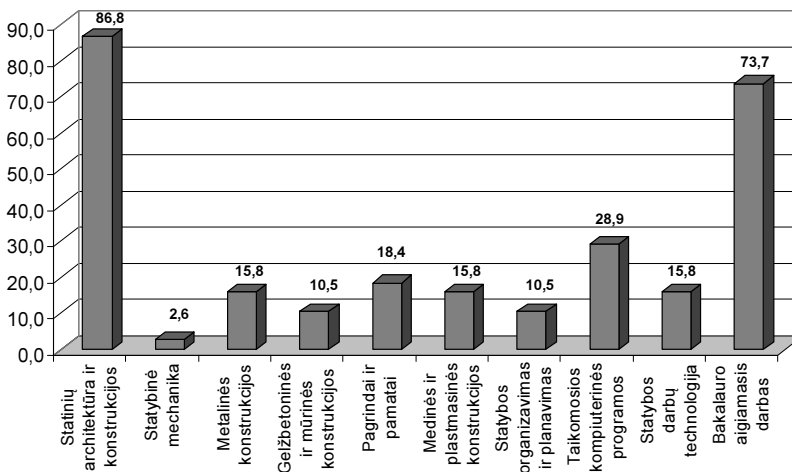


2.12 pav. Studijų dalykai, kuriems respondentai teiktų pirmenybę studijų procese, proc. (Reizgevičius *et al.* 2013a)

Fig. 2.12. Most important study modules according to respondents, percent (Reizgevičius *et al.* 2013a)

Daugiausia studentų nurodė, kad turėdami galimybę rinktis studijų dalykus, prioritetą teiktų projektavimui (84,2 proc.), architektūrai (68,4 proc.). Toks respondentų pasirinkimas dar kartą pagrindžia jų rodomą poreikį ir motyvą gilinti žinias BIM programų panaudojimo srityje, kadangi nurodyti studijų dalykai yra tinkami šių programų praktiniam naudojimui. Daugiau nei pusė apklaustųjų nurodė, kad prioritetiniu studijų dalyku būtų profesinės veiklos praktika (55,3 proc.). Praktikos metu studentai turi galimybę susipažinti ar bent jau pradedančiojo lygmenyje išbandyti įvairesnes kompiuterinio projektavimo ir kitas statybos sektoriuje naudojamas programas.

Tyrimo metu studentų prašant įvertinti, kurių studijų dalykų / modulių paskaitose geriausiai būtų galima pritaikyti BIM programų naudojimą (2.13 paveikslas), 86,8 proc. apklaustųjų nurodė, kad BIM kompiuterinis programavimas labiausiai pritaikomas Statinių architektūros ir konstrukcijų dalyko studijose bei rengiant Bakalauro baigiamąjį darbą (73,7 proc.).



2.13 pav. Studijų dalykai, kurie tinka pritaikyti BIM, proc.
(Reizgevičius *et al.* 2013a)

Fig. 2.13. Study modules suitable for BIM usage
(Reizgevičius *et al.* 2013a)

Beveik trečdalis (28,9 proc.) apklaustųjų nuomone, susipažinimui / darbui su įvairiomis BIM programomis yra tinkamas Taikomųjų kompiuterinių programų studijų dalykas.

2.3. BIM technologijų įtakos darbo efektyvumui tyrimas

Praktiniam modelio efektyvumo vertinimui buvo pasirinkta 100 aukščiausių dangoraižių remiantis (Council on Tall Buildings and Urban Habitat) „Auštybinių pastatų ir urbanizuotų teritorijų tarybos JAV“ duomenimis. Iš jų atrinkti statybos objektai apie kuriuos buvo pateikta informacija: statybos pradžia, statybos trukmė, aukštų skaičius, pastato aukštis metrais, pastato bendras plotas (tūkst. m²), pastato geografinė vietovė.

Žinodami, kad BIM modeliavimas pirmą kartą paminėtas 1987 metais, pastatai buvo suskirstyti į dvi grupes (2.10 lentelė). Pirmoji grupė, tai pastatai kurie suprojektuoti nenaudojant BIM programų. Tuo tarpu kitos grupės pastatams manoma, kad buvo naudojamos vienokios ar kitokios informacinės sistemos padedančios kurti ir planuoti pastato informacinį modelį ir statybas.

Įdomus faktas, kad pastatų grupėje, kurie pradėti statyti iki 1987 metų patenka 14 pastatų iš kurių 13 pastatyta JAV.

Įvertinus gautus rezultatus pastebime, kad nors pastatų kuriams buvo naudojamos BIM programos vidutinis aukštis metrais didesnis, tačiau aukštų skaičius vidutiniškai net keturiais aukštais mažesnis. Tad galime teigti, kad šiandienos dangoraižiai statomi ne vien dėl efektyvaus žemės išnaudojimo, bet ir dėl reklamos. Stengiamasi aplenkti pastatus konkurentus iškeliant pastato elementą (stiebą, bokštelį ar kitą) kuo aukščiau.

2.10 lentelė. Dangoraižių rodikliai (Reizgevičiūtė *et al.* 2013)

Table 2.10. Skyscrapers indexes (Reizgevičiūtė *et al.* 2013)

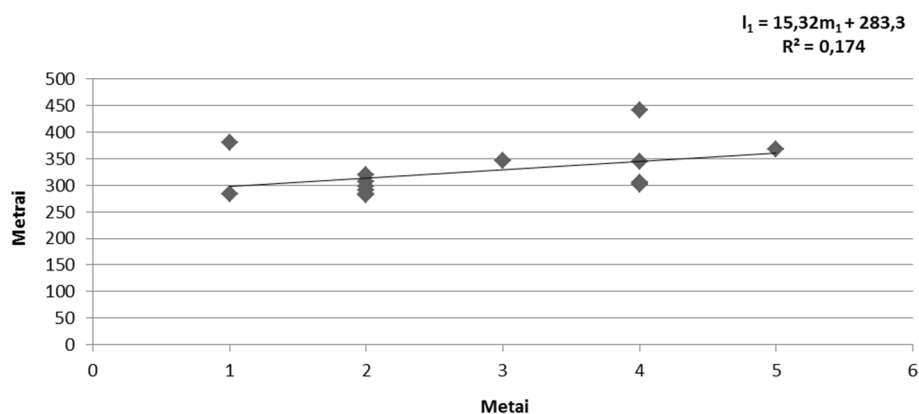
Rodiklio pavadinimas	Pastatai kurių projektavimui nenaudotos BIM programos	Pastatai kurių projektavimui naudotos BIM programos
Nagrinėjamų pastatų skaičius, vnt.	14	63
Vid. pastatų aukštis, m.	324,93	358,29
Vid. aukštų skaičius, vnt.	79	75,86
Vid. bendras pastato plotas tūkst. m ²	192,79	234,85
Vid. statybų trukmė, m.	2,71	4,5
Statybos apimtys tūkst. m ² per metus	82,76	52,3

Buvo ieškota sprendimų, kas įtakoja tokį ženklų darbo našumo smukimą per paskutinius 20 metų.

Manoma, kad šiandienos statybos pramonei didelę įtaką daro: didelis statybinių medžiagų ir gaminių pasirinkimas, ir specifiniai darbai; tipinių mazgų ir konstrukcinių sprendimų nebuvimas; kvalifikuotų specialistų stoka; perėjimas nuo vienos projektavimo programos prie kitos užima daug laiko ir dažnai neduoda tikėtosios naudos.

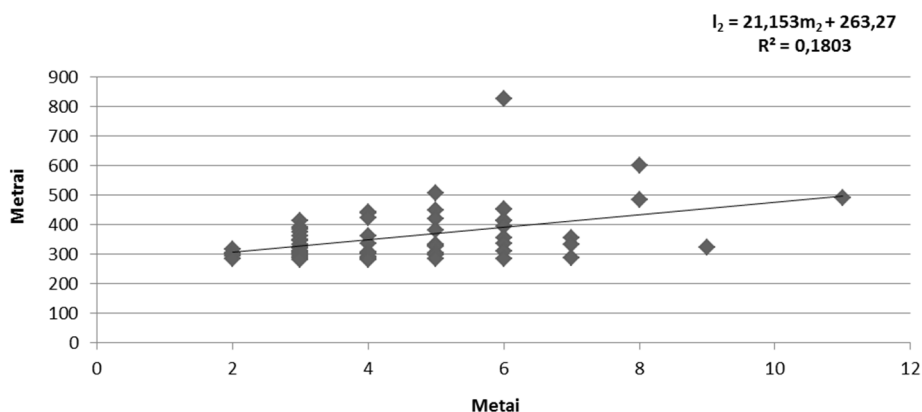
Toliau pateikiama regresinė analizė, vertinant statybos trukmės ir kitų kintamųjų (aukščio, aukštų skaičiaus, ploto) ryšius.

Regresinė analizė parodė, kad tiek naudojant BIM, tiek nenaudojant pastatų projektavime ryšys tarp statybos trukmės metais ir pastato aukščio metrais yra tiesioginis, t. y. kuo daugiau metrų siekia pastato aukštis, tuo ilgiau jis turėtų būti statomas. Determinacijos koeficientai [$R^2 = 0,17$; $R^2 = 0,18$] (2.14 ir 2.15 paveikslai) rodo, kad pastato aukščio įtaką statybos trukmei galima paaiškinti šiek tiek mažiau nei penktadalyje analizuotų atvejų.



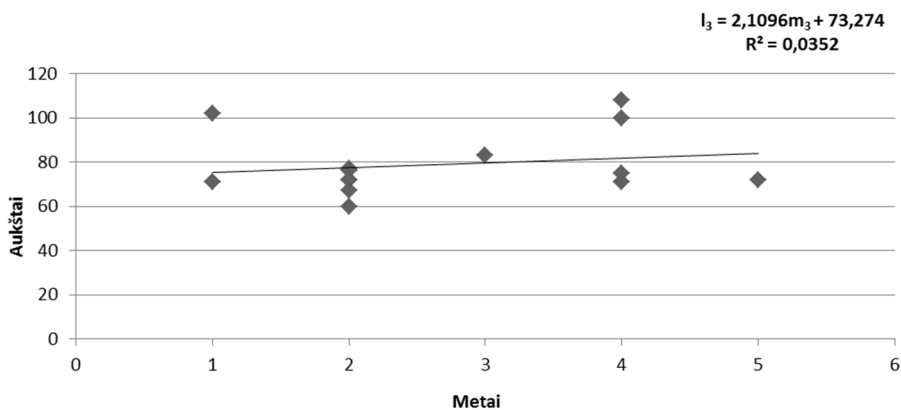
2.14 pav. Pastato aukščio įtaka statybos trukmei, nenaudojant BIM
(Reizgevičiūtė *et al.* 2013)

Fig. 2.14. The influence of the height of the building to construction time without BIM (Reizgevičiūtė *et al.* 2013)



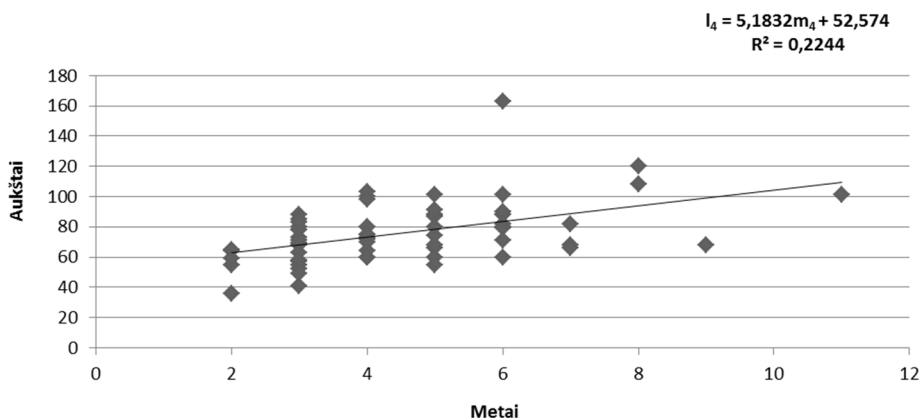
2.15 pav. Pastato aukščio įtaka statybos trukmei, naudojant BIM
(Reizgevičiūtė *et al.* 2013)

Fig. 2.15. The influence of the height of the building to construction time using BIM (Reizgevičiūtė *et al.* 2013)



2.16 pav. Pastato aukštų skaičiaus įtaka statybos trukmei, nenaudojant BIM (Reizgevičiūtė *et al.* 2013)

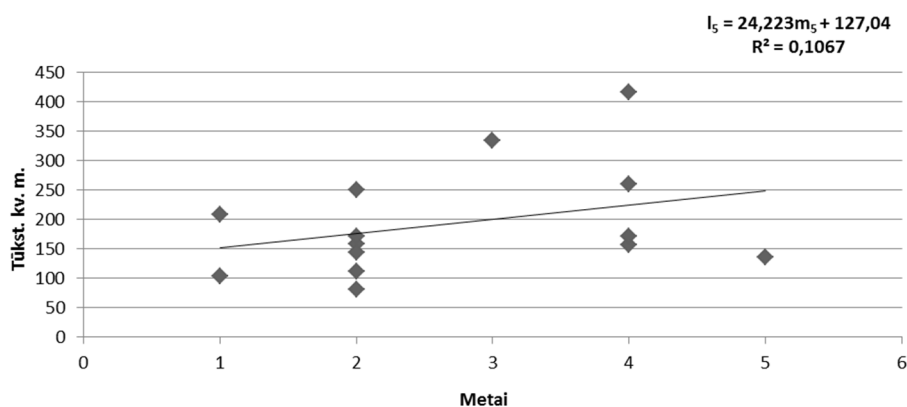
Fig. 2.16. Number of floors in the building influence to construction time without using BIM (Reizgevičiūtė *et al.* 2013)



2.17 pav. Pastato aukštų skaičiaus įtaka statybos trukmei, naudojant BIM (Reizgevičiūtė *et al.* 2013)

Fig. 2.17. Number of floors in the building influence to construction time using BIM (Reizgevičiūtė *et al.* 2013)

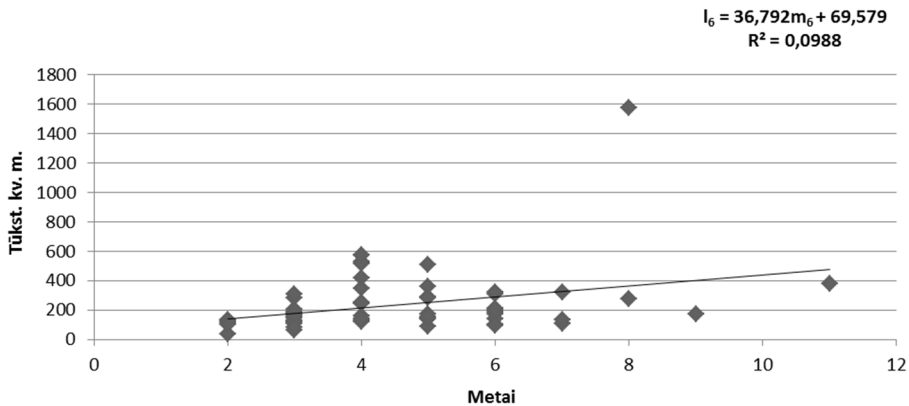
Analizuojant pastato aukštų įtaką statybos trukmei nenaudojant BIM ir naudojant BIM, regresinės analizės lygtys abiem atvejais parodė tą pačią kryptį, t. y., kad esant didesniai aukštų skaičiui reikalingas ilgesnis laikotarpis statybos procesui (2.16 ir 2.17 paveikslai). Tačiau determinacijos koeficientas $R^2 = 0,04$ (BIM nenaudojimo atveju) ir $R^2 = 0,22$ (BIM naudojimo atveju) rodo, kad priklausomybė tarp analizuojamų rodiklių yra patikima tik BIM naudojimo atveju, o BIM nenaudojimo atveju nustatytas ryšys yra menko patikimumo ir rodiklių ryšį paaiškina tik 4 procentuose atvejų, kai tuo tarpu naudojant BIM, daugiau nei penktadalyje statytų objektų yra reikšmingas tiesioginis ryšys tarp pastato aukštų ir statybos trukmės. BIM nenaudojimo atveju reikia ieškoti kitų statybos trukmę lemiančių rodiklių.



2.18 pav. Pastato ploto įtaka statybos trukmei, nenaudojant BIM
(Reizgevičiūtė *et al.* 2013)

Fig. 2.18. Total building area influence on the construction time without using BIM (Reizgevičiūtė *et al.* 2013)

Atlikus regresinę analizę vertinant pastato ploto įtaką statybos trukmei, regresijos lygtis abiem atvejais parodė vienodą pokyčių kryptį t. y. kuo didesnis statybos plotas, tuo ilgesnė turėtų būti statybos trukmė (2.18 ir 2.19 paveikslai). Determinacijos koeficientais $R^2 = 0,11$ ir $R^2 = 0,10$ rodo nedidelio patikimumo ryšį ir tai, kad statybos trukmę paaiškina pastato plotas, tik dešimtadalyje analizuotų atvejų.



2.19 pav. Pastato ploto įtaka statybos trukmei, naudojant BIM
(Reizgevičiūtė *et al.* 2013)

Fig. 2.19. Total building area influence on the construction time
using BIM (Reizgevičiūtė *et al.* 2013)

Gauti rezultatai sutampa su Teicholz *et al.* (2001) nuomone, kurie teigia, kad informacinės technologijos daugelyje pramonės šakų lėmė produktyvumo per pastaruosius 40 metų išaugimą daugiau nei dvigubai, tačiau šis rodiklis statybos sektoriuje kito priešinga kryptimi – sumažėjo apie 5 procentus. Dalinį gautų rezultatų paaiškinimą galima rasti Eastman ir Sacks (2008) požiūryje, kurie teigia, kad BIM vis dėlto turi įtakos produktyvumo didėjimui statybos sektoriuje, tačiau šis efektas pasireiškia procesuose vykstančiuose ne statybos aikštelėje.

2.4. Antrojo skyriaus išvados

1. Sukurtas BIM technologijų projektavimo įmonėje daugiapakopis vertinimas nustatant kiekvieno modelyje veikiančio dalyvio reikšmę. Praktiškai apibūdintas jų vaidmuo ir veikimas. Atsižvelgus į atliktą literatūros apžvalgą, autoriaus atliktus mokslinius tyrimus, siūloma BIM diegimą projektavimo įmonėje suskirstyti į 4 lygių pakopas.
2. Sukurta 4D efektyvumo vertinimo eksperimento metodika. Atlikus eksperimentą buvo nustatyti anksčiau mažai nagrinėjami rodikliai. Lyginant 2D ir 4D grupių dalyvių pasiektą statybos objekto išbaigtumą, galima daryti išvadą, kad 4D modelio naudojimas suteikė galimybę, esant ribotiems laiko ištekliais, pasiekti beveik du kartus didesni

našumą. Lyginant dviejų dalyvių grupių eksperimentų rezultatus nustatyta, kad 4D grupės dalyviai įvykdė 48,6 proc. daugiau statybos objekto apimties nei 2D grupės. Apibendrinant eksperimento rezultatus, galima teigti kad 4D naudojimas pagreitina statybos procesus iki 3 kartų, tiek vertinant bendrą laiko trukmę, tiek trukmę, tenkančią vienam statybos elementui. Eksperimento metu nustatyta, kad 4D modelio informacija sudaro prielaidas greičiau vykdyti statybas.

3. Atlikus 4D efektyvumo eksperimentą buvo panaudoti daugiatisliai sprendimo priėmimo metodai (SAW, COPRAS, TOPSIS) modelių 2D ir 4D rangavimui nustatyti. Visais trimis metodais racionalesnė alternatyva yra modelis 4D. Tiek statistinės tiek daugiakriterinės analizės rezultatai leidžia daryti išvadą, jog modelis 4D yra patogesnis ir efektyvesnis naudojimui, nei modelis 2D.
4. Atliktas tyrimas, kurio metu įvertintas BIM technologijų poreikis statybos inžinerijos studijose. Tyrimo rezultatai parodė, kad neformalioju būdu studentai neįgyja BIM projektavimo žinių ir įgūdžių. Studentų požiūrio tyrimas parodė, kad studijų metu yra žinių ir įgūdžių, susijusių su BIM programų naudojimu trūkumas, kurį lemia pačių studentų minimalios žinios apie labai siaurą spektrą BIM programų, statybų sektoriaus darbo rinkos poreikiai, pačių studentų noras ir motyvacija. BIM disciplinų išmanymas smarkiai pagerintų studijų kokybę aukštosiose mokyklose. Studijos būtų visapusiškos, susietos atskiros disciplinos sukurtų realų statybos pramonės vaizdą. BIM projektavimo išmanymas leistų greičiau įsiliesti į ypač reiklį šiandieninę darbo rinką.
5. Atlikus daugiaaukščių pastatų (dangoraižių) įvertinimą nustatyta, kad pastatų, kurie pastatyti iki 1987 m (kai pasaulyje buvo pradėtos naudoti BIM technologijos) vidutinė statybų trukmė 2,7 metai. Tuo tarpu naudojant BIM technologijas pastato statybos trukmė siekia vidutiniškai 4,5 metų. Statybų greitis per paskutinius metus sumažėjo daugiau nei 36 %. Atlikta regresinė analizė, kurios pagalba išsiaiškinta, kad visais nagrinėtais atvejais determinacijos koeficientas mažas ir rodo silpną priklausomybę (maksimalus determinacijos koeficientas – 0,2244, mažiausias – 0,0352, kurie rodo patikimą, tačiau silpną ryšį). Taip pat išnagrinėtos priklausomybės tarp pastato aukštų skaičiaus, aukščio (m), ploto (tūkst. m²) ir statybos trukmės (metais).

BIM technologijų diegimo projektavimo paslaugų įmonėje vertinimas

Šiame skyriuje vertinamas BIM technologijų diegimo projektavimo įmonėje poreikis. Įvertinamas projektavimo įmonių efektyvumo padidėjimas pradėjus naudoti BIM. Skyriuje aptariami BIM projektavimo iššūkiai, barjerai, problemos ir sprendimo būdai. Norint teisingai įvertinti BIM diegimo poreikį ir projektavimo įmonės įtakojančius veiksnius apklausta 10 BIM programas įsidedusių projektavimo įmonių projektuotojų. Nustatyti veiksniai, labiausiai įtakojantys įmones diegti BIM programas. Siekiant tinkamai įvertinti BIM technologijų diegimo svarbą ir reikalingumą projektavimo paslaugų sektoriuje, nagrinėjama projektavimo įmonės „N“ vykdoma veikla. Taip pat skyriuje analizuojama BIM technologijų diegimo projektavimo įmonėse nauda, efektyvumo padidėjimas pradėjus naudoti BIM technologijas. Skyriuje aptariami užsienio autorių nagrinėjami BIM projektavimo atsiperkamumo tyrimai, ROI skaičiavimo metodika. Norint teisingai įvertinti BIM atsiperkamumą, atliekami praktiniai ROI skaičiavimai. Iškeliama hipotezė, ar skaičiavimų metodika yra tinkama, ar skaičiuojant investicijų atsipirkimą įvertinami visi reikiami kintamieji.

Skyriuje nagrinėjamosios temomis autorius kartu su bendraautoriais paskelbė publikacijas: Reizgevičius *et al.* 2015, Reizgevičius *et al.* 2015, Reizgevičiūtė *et al.* 2014.

3.1. BIM technologijų diegimo projektavimo įmonėje poreikio nustatymas

Šiandieninė statybos pramonė labai reikli, specialistas privalo išmanyti visas statybos sritis, gebėti dirbti su sudėtingomis daugiafunkčėmis kompiuterinėmis programomis. BIM projektavimas turi daug privalumų, kurių dėka tradicinis projektavimo modelis pamažu praranda savo vertę. Daugelis projektavimo įmonių pamažu pereina prie BIM projektavimo. Naudojant BIM programas projektavimo įmonėse palengvėja projekto redagavimas, kadangi naudojant BIM modelį grafiniai subjektai yra erdvės, sienos, konstrukciniai elementai. Kaupiamos parinktų konstrukcijų fizinės ir funkcinės charakteristikos, gyvavimo ciklo informacija sukuria visapusišką pilną projektą. Naudojant BIM padidėja projektavimo proceso efektyvumas. Projektavimo įmonėms efektyvumas ypač ryškus tuomet, kai reikalingas pilnas kompleksinis projektas (visos projekto dalys).

BIM projektavimo metodologija yra ne tik architekto vizijos įgyvendinimas ir erdvių ryšių vaizdavimas rodomas 3D. BIM yra skaitmeninės informacijos saugykla, generuojama projektavimo proceso ir modeliavimo: projektavimo, gamybos informacijos, montavimo instrukcijos, specifikacijos, medžiagos, grafikai ir projektų valdymo logistika vienoje duomenų bazėje (Schinnerer 2007). Tokie duomenų modeliai egzistuoja viso pastato gyvavimo laikotarpiu. Modelis gali būti naudojamas kaip statytojo turtas („Taip pastatyta“ pastato informacija) tolesniems papildymams, renovacijai, atnaujinimui, kt. (Kuehmeier 2008). Kyla klausimas, kada projektavimo įmonėje atsiranda poreikis diegti brangią BIM technologiją, kokie veiksniai labiausiai įtakoja BIM diegimą? Autoriaus tikslas – išanalizuoti BIM technologijų diegimo projektavimo įmonėse poreikį.

3.1.1. Technologijų diegimo poreikis projektavimo įmonėse

Nepaisant to, kad „ArchiCAD“ programinė įranga Vengrijoje atsirado dar 1982 m., tačiau BIM technologijų diegimas daugiau nei per du dešimtmečius buvo gana lėtas. Per paskutinius penkerius metus BIM technologijų diegimą stabdę nesklandumai buvo ištaisyti ir statybos pramonėje pastebimi BIM technologijų privalumai (Smith 2014). McGraw Hill (2014) nuo 2007 metų atliktų statybos

pramonės tyrimų rezultatai parodo, kad per penkerius metus BIM programų naudojimas smarkiai išaugo. Jų duomenimis Šiaurės Amerikoje BIM naudojimas tarp rangovų įmonių šoko nuo 28 % (2007 m) iki 71 % (2012 m). Pagal BIM panaudojimą JAV yra pasaulinis lyderis. Skandinavijos šalyse BIM taip pat plačiai naudojamos. Viena iš didžiausių priežasčių – šalyse populiarios statybos iš surenkamų elementų, o BIM technologijos metodologija yra puikiai pritaikyta surenkamoms konstrukcijoms. Pagal McGraw Hill (2014) atliktų tyrimų rezultatus tik 15 % iš 388 apklaustų įmonių Kinijoje naudoja BIM. Šalyje nusistovėjusios projektavimo tradicijos bei įstatymai. Atsiranda nesklandumai, kadangi vienas iš įstatymų Kinijoje numato, kad projektavimo ir statybos etapai būtų atskirtos ir subrangovai negalėtų dalyvauti projektavimo stadijoje. Todėl neįmanoma išnaudoti vieno iš pagrindinių BIM teikiamų privalumų – bendradarbiavimo tarp statybos proceso dalyvių.

Tarp mažų projektavimo įmonių BIM programos kompleksiniam projektavimui naudojamos retai, kadangi mažos įmonės, užsiimančios nedidelių objektų projektavimu investuodamos į brangias programas greitos naudos, atsipirkimo nepajunta. Be to, didžioji dalis projektavimo įmonių yra specializuotos ir jos dirba projektuodamos tam tikrus pastatus ar statinius, inžinerines komunikacijas.

Labiau sudėtingos pastato informacinio modelio technologijų programos naudojamos didelių gamybos įmonių, projektavimo centrų ir pan. Diegiant BIM atsiranda galimybė statybos įmonėms kurti darbo vietas projektavimo padaliniais: pirkti BIM programas, kelti kvalifikaciją kompiuterinių programų valdyme ir t. t. Didžiausia BIM technologijų nauda pastebima valdant statybas ar užkertant kelią klaidų atsiradimui statybos metu.

BIM technologijos yra tinkamos visiems statybos objektams, tačiau jų populiarumą lėmė galimybė panaudoti programą sudėtingų statinių projektavimui ir statybai: dangoraižiai ir daugiaaukščiai pastatai, tiltai ir viadukai, keliai, magistralės ir kt. Šiandien statybos produktyvumas smarkiai atsilieka nuo kitų pramonės šakų. Buvo atliktas tyrimas, kurio metu, analizuojama 100 aukščiausių dangoraižių pasaulyje (Reizgevičiūtė *et al.* 2013). Tyrime pasirinkta analizuojamos statybos laiko trukmė, kada pasaulyje dar nebuvo naudojamos BIM programos. Buvo lyginamas statybos produktyvumas dangoraižių statytų iki 1990 metų ir po 1990 metų. Remiantis BIM panaudojimo efektyvumo rezultatais, pastebima, kad statybų greitis per paskutinius metus sumažėjo daugiau nei 36 %.

Užsienio autorių teigimu, tol, kol BIM plačiausiai naudojamas didelių įmonių, poreikiai pritaikyti būtent joms ir atsiperkamumą galima įvertinti tik pagal didelių kompanijų investicijas. Kol BIM nebus pradėtas plačiau naudoti mažų ir vidutinių įmonių, teisingas BIM poreikio vertinimas nėra tikslingas ir neparodys tikrosios statybos pramonės dalyvių padėties. (Son *et al.* 2015).

Nepaisant BIM technologijų privalumų nemažai projektavimo įmonių delsia diegti brangias BIM programas. Galima išskirti keletą priežasčių, įtakojančių projektuotojų nenorą naudoti BIM:

- Projektuojami nedideli objektai, kurių statybos etapuose nepasitaiko klaidų.
- Neįmanoma atlikti projekto be 2D CAD brėžinių, reikalingos tiek detalės ir mazgai, tiek sklypo planai.
- Projektuotojų darbas įkainojamas nevertinant skirto laiko ar kokybės, o projektuotojas pasirenkamas pagal mažiausią kainą, todėl abejojama programos atsiperkamumu.
- Neaiškumai dėl autorystės teisių (jei projektas bus atliktas BIM aplinkoje, atidavus visą modelį užsakovui (statytojui) kyla klausimas, kam priklausys autorystės teisės).
- Turėdamas pilną BIM projektą, užsakovas, statantis panašų ar tipinį projektą gali pasirinkti pigesnę projektuotoją.

Vertinant BIM technologijų diegimo poreikį, reikalinga įvertinti projektuotojo prioritetus. Projektuotojui svarbu:

1. Suprojektuoti pastatą, kad jis atitiktų esminius statinio reikalavimus.
2. Pateikti pagrindinių medžiagų kiekius, pagrįsti sprendinius, pateikti technines specifikacijas.

3. Pateikti svarbesnius netipinius mazgus ir detales.
4. Gaišti laiką prie projekto tik tiek, kiek jis yra pelningas.

Projektuotojui nėra svarbu:

- Per kiek laiko pastatys suprojektuotą pastatą.
- Ar suprojektuoto pastato statybos vėluos.

BIM projektavimo atsiradimą statybos pramonėje, skatinantys veiksniai:

1. Statybininkai mato, kad daug laiko sugaištama prastovoms (o darbuotojai gauna darbo užmokestį už atliktą darbą).

2. Skaičiuojant medžiagas ir kiekius dideliems objektams galima apsirikti (10–30 %).

3. Sunku sukontroliuoti darbuotojų atliktus darbus.

4. Sunku planuoti darbus kelis mėnesius į priekį.

5. Svarbu užtikrinti darbuotojų saugą ir sveikatą.

6. Statant pastatus urbanizuotose teritorijose (miestų centruose, senamiesčiuose) labai svarbus veiksnys yra tinkamas sklypo (sandėliavimo vietų) išnaudojimas. Todėl labai svarbu, kad medžiagos ir mechanizmai atvyktų į objektą tuo laiku, kai jų reikia. Panaudojus BIM projektavimo ir planavimo platformas, efektyviai išnaudoti statybos aikštelę. Statybos aikštelėje atsirandančios prastovos smarkiai pabrangina projektus. Prastovos gali atsirasti dėl įvairių priežasčių. Pagrindinė priežastis, dėl kurios įvyksta nesklandumai statybos aikštelėje – netinkamas planavimas. Nenaudojant BIM sudėtinga

sukontroliuoti medžiagų pristatymą į aikštelę laiku, neatitikimų taisymą. Taip pat prastovas gali lemti bendradarbiavimo stoka tarp rangovo ir projektuotojo. Nenaudojant BIM šie statybos dalyviai nekontaktuoja, darbai nėra derinami, todėl dažnai atsiranda pakartotinis darbas, reikalingas papildomas laikas pakeitimams projekte.

3.1.2. Projektavimo iššūkiai, barjerai, problemos ir sprendimo būdai

Norint įvertinti BIM diegimo poreikį įmonėje, būtina atsižvelgti į barjerus, iššūkius, kuriuos teks įveikti pradėjus naudoti naują technologiją. Nusprendus pradėti BIM technologijas dažniausiai vertinamos išlaidos, reikalingos įsigyti programinę įrangą, darbuotojų mokymai, sugaištas laikas mokymams, prastovos. Tačiau pradėjus naudoti BIM yra sutinkama daug daugiau barjerų, kurie kiekvienoje įmonėje yra individualūs, priklauso nuo jos dydžio, darbuotojų skaičiaus, lygio statybos sektoriuje. Diegiant BIM programas įmonėse pastebimi 3 tipų barjerai: teisiniai, techniniai ir komerciniai. Teisiniu požiūriu įžvelgiama sklandaus bendradarbiavimo grėsmė. Be to, naudojant vieną modelį būtina nustatyti atskirų projekto dalyvių atsakomybes, įvertinti intelektinės nuosavybės pasisavinimo grėsmes. Techniniai barjerai: programos sąveika, standartų trūkumas (nacionalinių). Komerciniai barjerai: įmonių nepaslinkumas (sąstingis), reikalingos investicijos, grėsmių ir apdovanojimų netolygumas, nėra standartinių verslo ir sutarčių modelių (Ashcraft, Shelden 2015).

Išskiriami trys kritiniai BIM diegimo įmonėje klausimai:

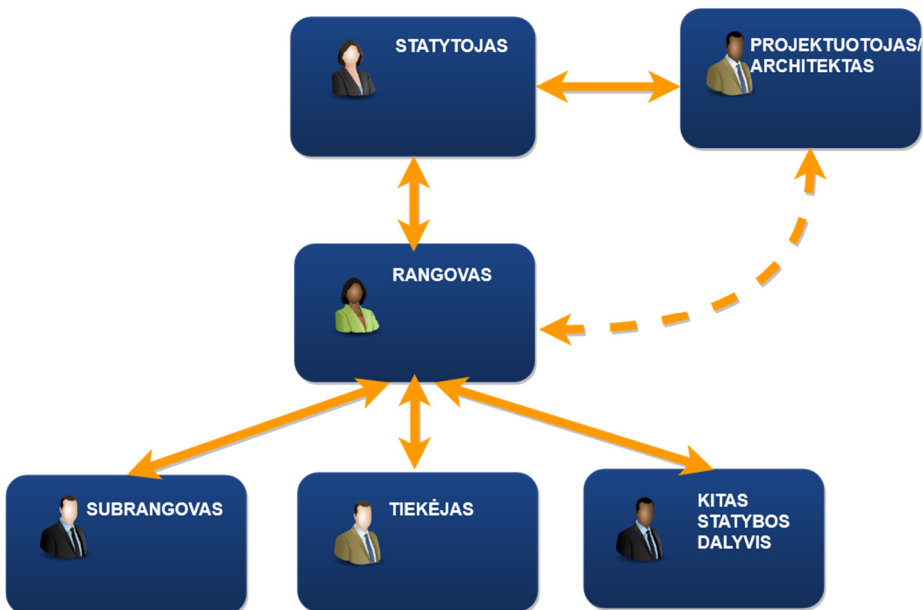
1. Programinės įrangos parinkimas.
2. Informacinių technologijų problemų nustatymas.
3. Mokymai ir diegimas.

Renkantis programinę įrangą pastebima, kad daugelis BIM programų yra panašios, pasižymi šiomis savybėmis: programose 3D projektavimo aplinka, „domeno“ įrankių rinkiniai, galimybė gauti brėžinių atskirus pjūvius, informacijos importavimas ir eksportavimas. Tačiau pradėjus naudotis BIM programomis įgudęs vartotojas įžvelgia skirtumus tarp skirtingų BIM programų: kai kurios pasižymi lengvesniu naudojimu, panašiomis programos naudojimosi ypatybėmis kaip tradicinių 3D programų, galimybe sukurti sudėtingesnę geometriją.

Kyla klausimas, kaip išsirinkti tinkamą programinę įrangą, atitinkančią reikalavimus kokybei ir numatytoms lėšoms. Gavus norimų programinių įrangų komercinius pasiūlymus, reiktų įvertinti kainą, programos galimybes ir pritaikymą konkrečios įmonės veiklai. Norint išsirinkti tinkamą variantą, pradžia patariama pabandyti bent 2 programas (bandomąsias versijas), kad būtų galimybė palyginti programų privalumus ir trūkumus (Ashcraft, Shelden 2015).

Vertinant BIM privalumus svarbu paminėti platesnes bendravimo ir bendradarbiavimo galimybes tarp personalo, atskirų projekto komandos narių (Chi *et al.* 2014). BIM užmezga glaudesnę bendradarbiavimą tarp projektuotojų komandos narių. BIM integruotos interaktyvios galimybės yra daug palankesnės klientų informavimui. Pastato informacinio modelio duomenų bazės informacija gali būti laisvai prieinama internetu ir pasidalinta naudojantis „debesų“ technologijomis tarp įvairių projektavimo komandos narių, klientų, tiekėjų, gamintojų ir t. t. (Chi *et al.* 2014).

3.1 paveiksle pateikiami ryšiai tarp užsakovo (statytojo), statybos rangovo ir projektuotojo (projektavimo įmonės / architekto). Tokie ryšiai apibūdina standartinį projektavimo įmonių modelį. Rangovo ieškoma jau turint projektą. Pažymima, kad nurodymai iš užsakovo tiesiogiai perduodami statybos rangovui, kuris derina statybos klausimus su subrangovais, tiekėjais, kitais statybos dalyviais. Šiuo atveju projektuotojas lieka nuošalyje ir bendradarbiauja tik su užsakovu įgyvendindamas jo nurodymus ir užduotis. Toks modelis numato hierarchinę valdymo sistemą, atskiri statybos projekto dalyviai nekontaktuoja, nėra bendradarbiavimo tarp atskirų šalių atstovų.



3.1 pav. Standartinis statybos dalyvių bendradarbiavimo modelis (pagal Ashcraft, Shelden 2015)

Fig. 3.1. Standard cooperation model between construction parties (Ashcraft, Shelden 2015)

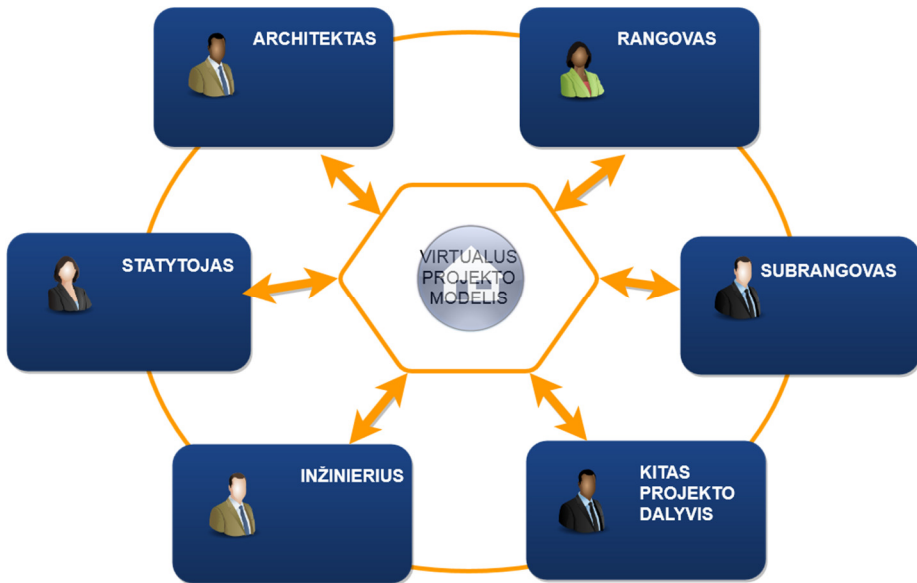
Naudojantis statybos vadyba ankstyvuose projektavimo proceso etapuose sudaromos tikslesnės sąmatos, kurios pateikiamos savininkui įvertinant būsimas išlaidas. Pilnai integruotas BIM projektavimo procesas įjungia architektą į statybos valdymo procesą ankstyvoje projektavimo fazėje. Visos projekte dalyvaujančios šalys naudojant BIM turi prieigą ir įvesties galimybes papildyti projektą, todėl galutinis suprojektuotas pastatas bus rentabilėsnis dėl padidėjusio produktyvumo, atsiradusio dėl abipusių ryšių tarp projekto dalyvių. Atsiradę abipusiai ryšiai suteikia galimybę tirti ir tobulinti vykdomą strategiją, sudaryti palankesnes konstruktyvumo sąlygas su atitinkamu produktyvumo padidėjimu, be to, lengviau sprendžiami modelyje atsiradę laiko – erdvės konfliktai (Fischer, Kunz 2004). Nors remiantis tokia sistema pateikiamas daug sudėtingesnis projektavimo procesas, tačiau jo metu projekto dalyviams sudaroma galimybė bendradarbiaujant sukurti efektyviausią statybos projekto „scenarijų“. 3.2 paveiksle pateikiami ryšiai, atsirandantys naudojant BIM technologijas statybos proceso metu. Iš hierarchinio modelio, kuris vyrauja šiandieninėje statybos pramonėje siekiama sukurti bendradarbiavimo ryšius tarp projekto dalyvių. Vienas didžiausių privalumų – grįžtamasis ryšis tarp statybos proceso dalyvių.

Didžiausias BIM modelio trūkumas, lygios teisės į bendrą projektą. Visi gali reikšti nuomonę, tokiu būdu projektavimo procesas gali ženkliai sulėtėti. Statybos rangovui yra svarbu pastatyti pastatą per kuo trumpesnę laiką, statybos inžinieriui yra svarbu, kad pastatas būtų kuo paprastesnis ir konstrukcijas apskaičiuoti būtų lengva. Architektui svarbiausia yra pastato architektūrinė išraiška, kad pastatas būtų tiek įdomus savo išore, tiek patogus naudoti. Dažnai sugalvojamos tam tikros eksterjero – interjero detalės, kurios brangiai kainuoja ir pakankamai sudėtingai įvykdomos. Statytojui svarbu pelningai parduoti, išnuomoti patalpas, per kuo trumpesnę laiką. Visi projekto dalyviai projektą mato skirtingu kampu, todėl šis modelis įveda naujų vėjų ir yra sudėtingas tiek greito projektavimo, tiek skirtingų nuomonių atžvilgiu.

Vienas iš trukdžių diegiant BIM programas yra nežinomybė, ar investicijos atsipirks. Dažnai įmonės eina nusistovėjusiu keliu ir laukia, kol kiti išbandys naujausią programinę įrangą, pažiūrės kaip sekasi konkurentams. Tačiau šis požiūris netinka, kadangi pastarieji konkurentai tobulėja, tampa sektoriaus lyderiais, kol kiti dar tik „tiria“ pastato informacinio modelio naudą (Smith 2014).

Didžiausia BIM panaudojimo nauda numatoma projekto savininkui, kadangi dažniausiai BIM diegiama atsiradus tam tikriems kliento poreikiams. Daugelis savininkų temato vienintelį teisinį atsakomybės modelį – architektas atlieka projektą ir perduoda jį statybos rangovui. Naudojant bendrą duomenų bazę greitis, prieinamumas, bendrumas ir prisitaikymas yra pasiekiami ankstyva informacijos įvestimi, žinių ir informacijos technologija, komandos išdėstymu ir informacijos mainais (Elvin 2007). Remiantis ekspertų tyrimais BIM pasižymi

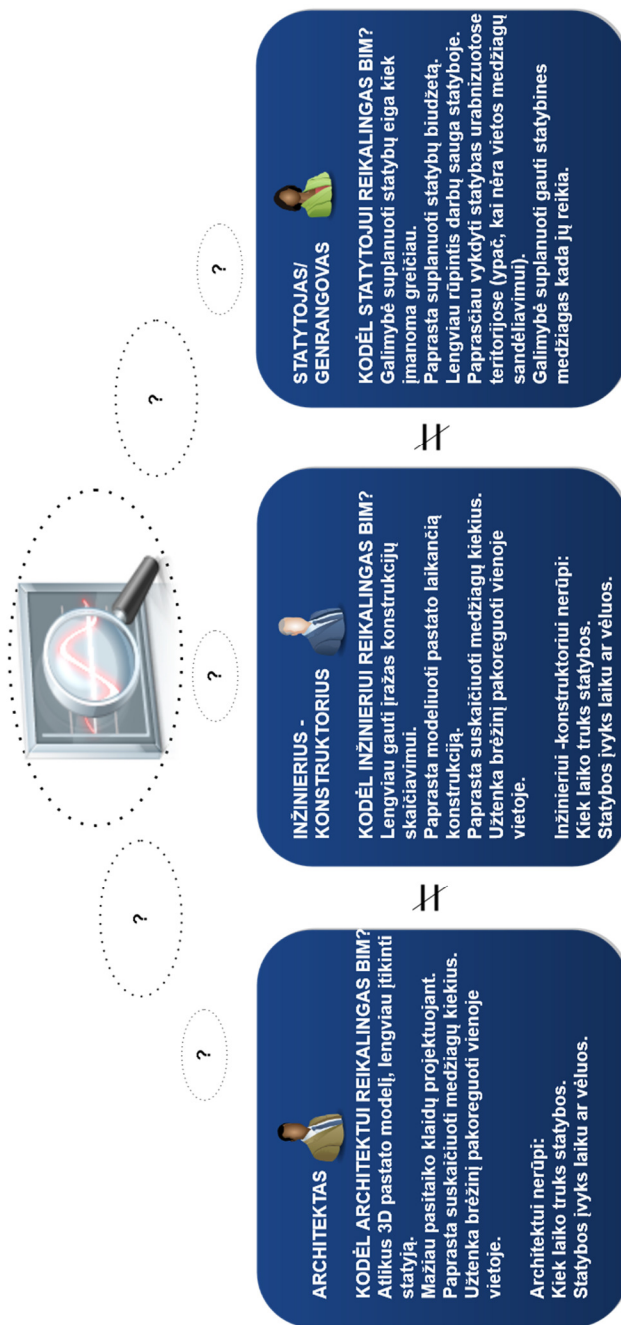
sumažėjusia rizika, padidėjusiu produktyvumu, supaprastinta gamyba, projektinių pakeitimų vykdymu, palengvinta kokybės kontrole ir moderniais analitiniais įrankiais (Schinnerer 2007). BIM privalumai atsiskleidžia per visą pastato egzistavimo laikotarpį (nuo pradinio sumanymo, statybos metu, pastato gyvavimo ciklo analizės metu).



3. 2 pav. Bendradarbiavimo ryšiai (pagal Ashcraft, Shelden 2015)

Fig. 3.2. Reciprocal relationships between various parties involved in the design process and the BIM project (Ashcraft, Shelden 2015)

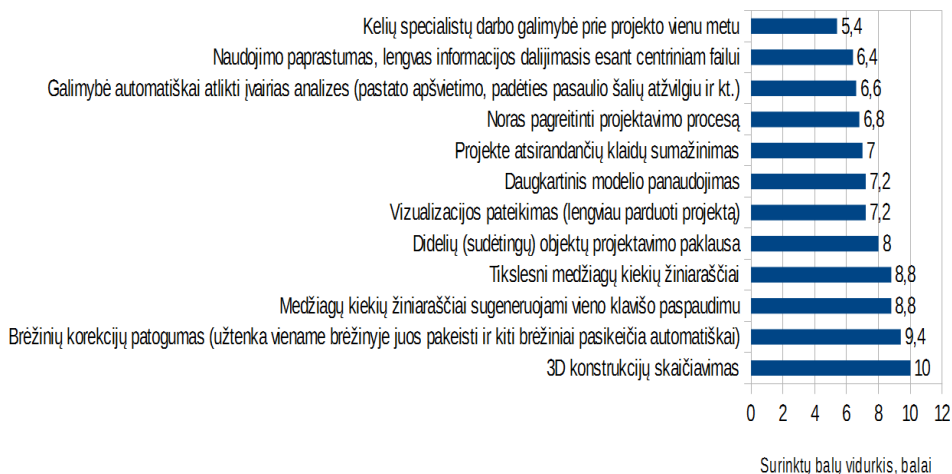
3.3 paveiksle pateikti skirtingų projekto dalyvių poreikiai, kuriuos įgyvendinti padeda pastato informacinio modelio panaudojimas. Be to, pateikiamos sritys, kurios konkreitiems statybos proceso dalyviams nerūpi. Architektui bei inžinieriui nerūpi statybų trukmė, vėlavimas. Pagal pateikiamą informaciją pastebima, kad didžiausia nauda numatoma rangovui ir statytojui. Rangovui BIM modelis padeda sutrumpinti statybos trukmę, sumažinti medžiagų kiekius, tiksliai numatyti statybų pabaigą, lengviau rūpintis darbuotojų sava ir sveikata statybos aikštelėje, lengvesnės statybos urbanizuotose teritorijose, lengviau suplanuoti medžiagų atvykimą į statybos aikštelę reikiamu metu.

3. 3 pav. Skirtingų projekto dalyvių poreikiai (Reizgevičius *et al.* 2015)Fig. 3.3. Different needs of participants in the project (Reizgevičius *et al.* 2015)

3.1.3. BIM diegimą įtakančių veiksnių nustatymas

Norint teisingai įvertinti BIM diegimo poreikį ir projektavimo įmones įtakančius veiksnius buvo apklausta 10 BIM programas įsidiegusių projektavimo įmonių projektuotojų. Respondentams atsitiktine tvarka buvo pateikta 12 veiksnių, kurie dažniausiai paskatina įmones pereiti prie naujų projektavimo programų. Apklaustieji įvertino veiksnius, įtakojusius įsidiegti BIM jų įmonėje 10-balėje sistemoje. 10 balų skiriama veiksmui, kuris apklaustųjų nuomone turėjo didžiausią įtaką; 1 – įtakos turėjo mažiausiai. 3.4 paveikslo diagramoje pateikiami apklausos rezultatai.

Respondentų nuomone, didžiausią įtaką turėjo ir lėmė BIM programų diegimą jų įmonėje – 3D konstrukcijų skaičiavimas. Šis veiksnys vieningai įvertintas 10-ia balų visų apklaustųjų. Galima daryti prielaidą, kad įmonėms, kuriose atliekamas pilnas kompleksinis projektas patogiu naudoti vieningą BIM programą, kadangi konstrukcijos skaičiuojamos tame pačiame modelyje, kur yra kuriamas ir visas pastato informacinio modelio centrinis failas. Todėl informacija visuomet atnaujinta, nebereikalinga keisti programų formatų, konvertuoti failus.



3.4. pav. Labiausiai įtakančių BIM diegimą veiksnių apklausos rezultatai
(Reizgevičius *et al.* 2015)

Fig. 3.4. Factors, which affect BIM implementation (Reizgevičius *et al.* 2015)

Antroje vietoje pagal labiausiai įtakojusius veiksnius – brėžinių korekcijų patogumas (užtenka viename brėžinyje juos pakeisti ir kiti brėžiniai pasikeičia automatiškai). Šio veiksnio aukštą įvertinimą lemia laiko resursų sumažėjimas, kuris dažnai būna skiriamas pasikartojančiam darbui pradinėje projektinių

pasiūlymų studijoje, kai išplanavimas dar modifikuojamas daug kartų, atsižvelgiant į kliento poreikius.

3–4 vietas užėmė medžiagų kiekių žiniaraščių generavimas vieno klavišo paspaudimu ir tai, jog automatiškai sudaryti žiniaraščiai yra tikslesni. Daroma išvada, kad yra didelis poreikis sudaryti tikslius žiniaraščius ir sumažinti darbo sąnaudas.

Vidutiniškai 8 balus surinko ir 5-oje vietoje pagal svarbą – didelių sudėtingų objektų projektavimo paklausa. Remiantis respondentų nuomone, galima manyti, jog objekto dydis renkantis BIM programas nėra esminis veiksnys, kadangi didelių projektų kiekis apklaustose projektavimo įmonėse nėra didelis. Be to, galima spėti, kad nepaisant 2D programų keliamų iššūkių dėl pakartotino darbo, tačiau aukštas profesionalų lygis sąlygoja tai, jog dideli projektai yra įgyvendinami taip pat sėkmingai sklandžiai kaip ir mažesni projektai.

6–7 vietas pasidalijo šie veiksniai: daugkartinis modelio panaudojimas ir vizualizacijos pateikimas, turintis įtakos lengvesniam projekto pardavimui. Daugkartinis modelio panaudojimas neturi lemiamos įtakos, kadangi projektai retai būna panašūs, todėl modelio viename centriniame faile nauda daugiausiai juntama statytojui, kuris disponuoja „nusipirktu“ projektu savo reikmėms viso pastato egzistavimo laikotarpiu. Akivaizdžios naudos dėl vizualizacijų įmonės nejunta, nes dažnai užsakovams nereikalingas erdvinis pastato vaizdas, ypač, kai pastatas – gyvenamasis namas, statomas savo reikmėms, o ne pardavimui.

Projekte atsirandančių klaidų sumažinimas vidutiniškai surinko 7 balus. Galima daryti išvadą, kad profesionalūs vartotojai, dirbantys apklaustose projektavimo įmonėse daro mažai klaidų, todėl šis veiksnys yra 8-oje vietoje.

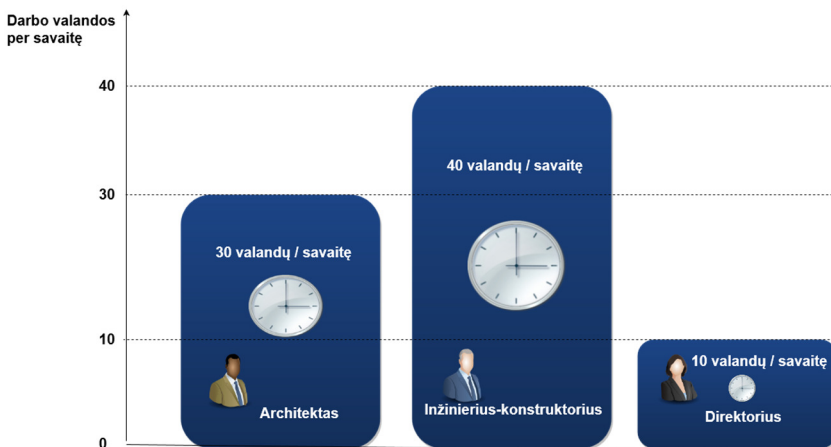
Noras pagreitinti projektavimo procesą surinko 6,8 balus. Manoma, kad BIM programų vartotojų įgūdžiai prieš įsidiegiant pastato informacinio modelio programas buvo puikūs. Todėl sprendžiant, ar verta diegti brangias BIM programas įmonių vadovams neturėjo įtakos noras pagreitinti projektavimo procesą, kadangi darbuotojai dirba optimaliu režimu.

Apklaustųjų įmonių vadovų nuomone, galimybė automatiškai atlikti įvairias analizes (pastato apšvietimo, padėties pasaulio šalių atžvilgiu ir kt.) juos domina vidutiniškai – šis veiksnys surinko 6,6 balo. Galbūt, teikiant projektavimo paslaugas pastebima, jog šių analizių poreikis iš klientų pusės nėra didelis, todėl veiksnys neturi didelės įtakos renkantis naudoti BIM programas. Naudojimo paprastumas ir lengvas informacijos dalijimasis esant centriniam failui surinko 6,4 balo.

Paskutinėje 12 vietoje pagal įtaką liko 5,4 balo surinkęs veiksnys – kelių specialistų darbo galimybė prie projekto vienu metu. Šiandieninėje visuomenėje pastebima, jog savo sritį išmanantys profesionalai dažnai siekia būti lyderiais – parodyti savo išmanymą, imtis vadovavimo, viską atlikti iki smulkmenų

preciziškai tobulai. Todėl keliems specialistams dirbti kartu vieno projekto metu ir dalintis savo intelektualėmis žiniomis, idėjomis ir sunkiai įgyta informacija nesinori. Be abejo, apklausus įmonių vadovus paaiškėja ne tik jų asmeninė nuomonė, bet ir bendra visų darbuotojų nuomonė, kadangi įmonėse BIM technologijos įdiegtos jau kurį laiką, todėl vadovai turėjo galimybę įvertinti BIM technologijų poreikio veiksnius bei labiausiai pagerėjusias darbuotojų sritis.

Siekiant tinkamai įvertinti BIM technologijų diegimo svarbą ir reikalingumą projektavimo paslaugų sektoriuje, nagrinėjama projektavimo įmonės „N“ vykdoma veikla. Įmonė yra uždaroji akcinė bendrovė, veiklą vykdanči daugiau nei 2-jus metus. Nagrinėjama „N“ įmonė – tai „mikro“ įmonė, joje iš viso dirba 4 darbuotojai (2,5 etato). Kadangi įmonė priskiriama jaunų įmonių grupei, joje keli darbuotojai dirba ne pilnu etatu (ne pagrindinėje darbovietėje). Įmonė taip prisitaikė prie kintančios rinkos ir reikalui esant gali daryti didesnius projektus dėl specialistų turimų atestatų. Įmonė atlieka įvairius projektavimo darbus. BIM nauda didelėms įmonėms yra įrodyta teoriškai ir praktiškai užsienio šalių autorių. Siekiama išsiaiškinti, ar „mikro“ įmonėje, vykdančioje veiklą Lietuvoje, verta diegti brangias BIM programas, skirti lėšų darbuotojų apmokymams. 3.5 paveiksle pateiktas darbuotojų „mikro“ įmonėje pasiskirstymas pagal profesijas.

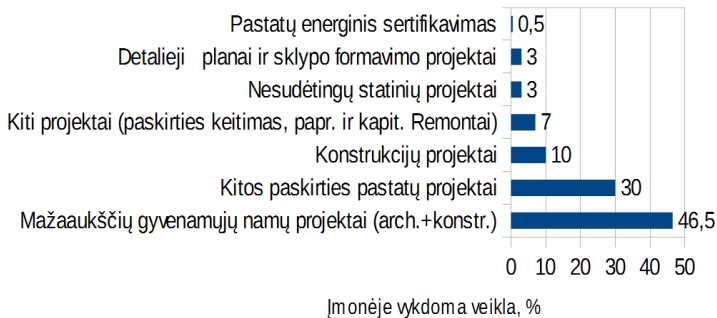


3. 5 pav. Darbuotojų pasiskirstymas įmonėje pagal profesijas (Reizgevičius *et al.* 2015)

Fig. 3.5. Distribution of employees in the company (Reizgevičius *et al.* 2015)

Įmonėje rengiami detalieji ir sklypų formavimo planai, mažaaukščių gyvenamųjų namų projektai, atliekami konstrukcijų skaičiavimo projektai, ruošiami nesudėtingų statinių ir kitos paskirties pastatų, paprastojo ir kapitalinio remonto projektai, skaičiuojami energiniai sertifikatai. Įmonės veikla platus

diapazono, pastebima, kad ne visai vykdomai veiklai reikalingas pilnas kompleksinis projektas. Išskiriama, kad kompleksinis projektas būtinas mažaaukščių gyvenamųjų namų projektavimui, kai reikalingos architektūrinė ir konstrukcijų dalys.



3.6 pav. Projektavimo įmonėje vykdoma veikla (Reizgevičius *et al.* 2015)

Fig. 3.6. The design company activities (Reizgevičius *et al.* 2015)

Pagal įmonės pateiktus ekonominius rodiklius ir skirtingą vykdomą veiklą atliekami skaičiavimai. Įvertinamos projektų kainos sugrupavus veiklą į skirtingas sritis. 3.6 paveiksle pateikiama projektavimo paslaugų įmonės vykdomų projektų kainos dalis nuo bendros visų projektų kainos. Didžiąją dalį įmonės projektų sudaro mažaaukščių gyvenamųjų namų projektai – 46,5 %. Kitos paskirties pastatų projektavimas sudaro 30 % įmonės pajamų, 10 % – sudaro konstrukcijų projektavimo paslaugos. Kita vykdoma veikla sudaro tik 13 %. Nepaisant to, kad mažaaukščių gyvenamųjų namų projektavimas, kai atliekamas pilnas kompleksinis projektas – architektūrinė ir konstrukcinė dalys, užima didžiausią dalį, tačiau gaunama mažiau nei pusė pajamų už įmonėje vykdomą veiklą.

Įmonėje atliekami projektai nėra kompleksiniai. Atliekant mažaaukščių gyvenamųjų namų projektus, juos sudaro architektūrinė ir konstrukcinė dalys. Tačiau įmonėje kartu nėra atliekamos šildymo – vėdinimo, oro kondicionavimo, vandentiekio ir kitos dalys. Daroma išvada, kad „mikro“ įmonei, vykdančiai veiklą daugelyje sričių, kol kas neverta diegti BIM programų ir apmokyti darbuotojų. Kadangi reikalingos lėšos programoms, darbuotojų apmokymams, investicijų atsipirkimo laikas yra ilgas. Be to, atliekant kompleksinius projektus, įmonėje gaunama mažiau nei 50 % pajamų. Esant dabartinei ekonominei situacijai šalyje, vidutiniškam užsakymų skaičiui, įmonei neketinant plėstis, BIM technologijų diegti „mikro“ įmonėje nepelninga.

3.2. Projektavimo paslaugų efektyvumo didinimas įvedant BIM

BIM (Building Information Modeling) projektavimas – naujos kartos projektavimo būdas, apimantis skaitmeninio projekto kūrimą ir tvarkymą. BIM – tai ne tik projektavimo, bet ir proceso simuliacija. Šiandieninė statybos pramonė labai reikli, specialistas privalo išmanyti visas statybos sritis, gebėti dirbti su sudėtingomis daugiafunkcinėmis kompiuterinėmis programomis. BIM projektavimas turi daug privalumų, kurių dėka tradicinis projektavimo modelis pamažu praranda savo vertę. Naudojant BIM programas projektavimo įmonėse palengvėja projekto redagavimas, kadangi naudojant BIM modelį grafiniai subjektai yra erdvės, sienos, konstrukciniai elementai (sijos, kolonos, kt.). Be to, kaupiamos parinktų konstrukcijų fizinės ir funkcinės charakteristikos, gyvavimo ciklo informacija. Kadangi projektavimas vyksta braižant ne linijomis, o elementais, kuriems priskirti tam tikri parametrai, didėja projektavimo proceso efektyvumas. BIM programos susieja skirtingus veiksnius, turinčius įtakos statybos procesui: laiką, sąnaudas, apšvietimą, geografinę padėtį, statybos medžiagas, jų kiekius ir kt. BIM efektyvumas ypač ryškus tuomet, kai reikalingas kompleksinis projektas.

Projektavimo įmonės vis daugiau pradeda naudoti BIM programas siekdamos greitesnių ir kokybiškesnių rezultatų. BIM projektavimo poreikis atsiranda įvertinus jo privalumus.

BIM technologijos yra tinkamos visiems statybos objektams, tačiau jų populiarumą lėmė galimybė panaudoti programą sudėtingų statinių projektavimui ir statybai: dangoraižiai ir daugiaaukščiai pastatai, tiltai ir viadukai, keliai, magistralės ir kt. Remiantis pirmame skyriuje pateikto tyrimo apie 100 aukščiųsių dangoraižių pasaulyje BIM panaudojimo efektyvumo rezultatais, pastebima, kad pastatų, kurių statybos pasibaigė iki 1990 metų ir prasidėjo ne vėliau nei 1987 metais, per metus vidutiniškai pastatyta 82 760 m², kai tuo tarpu naujosios statybos, kuriems naudojamos BIM technologijos statybos atsilieka vidutiniškai 30 000 m² per metus ir siekia tik 52 300 m². Statybų greitis per paskutinius metus sumažėjo daugiau nei 36 %.

Užsienio autorių teigimu (Aranda-Mena *et al.* 2009), BIM technologijų efektyvumas projektavimo įmonėse priklauso nuo daugelio veiksnių: įmonės dydžio, sektoriaus (architektūros, statybos inžinerijos), turimos darbo BIM ir CAD patirties, skirtingų įgūdžių tarp įmonės darbuotojų, darbuotojų santykių, konsultuojančių įmonių, užsakovų (privatūs ar viešojo sektoriaus). Teigiama, kad bendro BIM modelio verslui numatyti neįmanoma, kadangi kiekvienos įmonės atvejis ir specifinė situacija skirtinga. Norint BIM sėkmingai naudoti patikimam verslui, turi būti numatyti konkretūs tikslai, rezultatai, atsižvelgiama į konkrečius įmonės ir jos užsakovų poreikius, bendrovės charakteristikas. Kuo

aiškiau apibrėžti tikslai ir rezultatai, tuo aiškesnė darbo su BIM programomis vizija. Autorių teigimu, tipinio verslo scenarijaus naudojant BIM sukurti neįmanoma ir bandyti standartizuoti skirtingų įmonių veiklas nėra tikslinga. Kiekviena įmonė skirtinga ir savaip gali panaudoti BIM teikiamas galimybes ir išnaudoti privalumus. Įmonės užsienyje įsidiegusios BIM išskiria trumpalaikius privalumus: 45 % vartotojų sumažėjo projektavimo metu atsirandančių klaidų, 25 % vartotojų pastebėjo, kad sumažėjo pakartotinio darbo, lengviau pasidalinti informacija su kolegomis, visi vartotojai kaip privalumą išskiria naujų paslaugų pasiūlą ir galimybę kurti naujas verslo idėjas. BIM programų vartotojai kaip ilgalaikius privalumus išskiria projekto vykdymo trukmės sumažėjimą, pajamų padidėjimą.

BIM privalumų išnaudojimas priklauso nuo tinkamo BIM įdiegimo organizaciniu lygmeniu ir integracijos pramonės lygiu. Jungtinėje Karalystėje atliktas tyrimas parodė, kad didžiausių rangovų ir konsultacinių įmonių vadovai ir už IT atsakingi asmenys yra įsitikinę, kad informacijos dalijimosi privalumai, ryšių technologijos ir pagrindinės kliūtys su BIM diegimu daro poveikį organizacijų kardinaliems pokyčiams (Alshawi *et al.* 2008).

BIM diegimo svarba tampa vis labiau pripažįstama statybos pramonėje, kuri susiduria su įvairiomis kliūtimis ir sunkumais siekiant padidinti našumą, efektyvumą, kokybę (Khosrowshahi *et al.* 2012). BIM tikslingo diegimo gairės turėtų apimti šiuos aspektus: technologiją, procesą ir žmones. Įmonėms pradedant naudoti naujas technologijas reikia atsižvelgti į organizacinę kultūrą, išsilavinimą ir apmokymą, informacijos srautų valdymą. Atsižvelgiant į skirtingus veiksnius turi būti įvertinamas BIM diegimo įvairiapusiškumas – pradedant nuo technologijos ir darbuotojų apmokymo pokyčių ir baigiant duomenų ir procesų apdorojimu. Todėl pradedant naudoti BIM yra naudojamos skirtingos metodikos: lengva sisteminė metodika (žmonių orientavimas), informacijos inžinerija (duomenų valdomas požiūris) ir procesų inovacijos (į procesus orientuotas požiūris). BIM diegimas projektavimo įmonėse – sudėtingas procesas, keičiantis tris sritis įmonėje: technologiją, procesus ir darbuotojus (darbo įgūdžius, kvalifikaciją).

3.3. BIM technologijų diegimo projektavimo įmonėje atsiperkamumas

3.3.1. Technologijų nauda projektavimo įmonėse

BIM technologijų atsiradimas pasaulyje kardinaliai pakeitė šiandieninės statybos srities veiklą organizavimą. Siekiama išsiaiškinti, kaip statybos pramonė turėtų įtikinti statybos sričių atstovus įtikinti pradėti naudoti pastato

informacinį modelį pagrįsdama BIM naudą kiekybiškai ir kokybiškai. Atliekama analizė, aiškinamasi ROI sąvoka, skaičiavimo metodika. Atliekamas kriterijų, įvertinančių investicijų atsipirkimą, įvertinimas nustatant jų reikšmingumą. Mažai duomenų paskelbta apie sąnaudų sutaupymą naudojant BIM. Viena iš priežasčių – projekto duomenų slaptumas. Esami publikuojami tyrimai dažnai kritikuojami dėl apimties dydžio, tikslumo, skaičiavimų, objektyvumo ir bendro šališkumo (BIM programas kuriančių / platinančių įmonių pateikiami ypatingai teigiami atsipirkimo rodikliai) (Giel, Issa 2013). Azhar (2011) moksliniai tyrimai parodė, kad BIM technologijų investicijų atsiperkamumas (ROI) gali būti daug didesnis nei tradicinių statybos projektų nenaudojant BIM, kurie vaizduoja galimą ekonominę naudą.

Yan, Damian (2008) atliko tyrimą norėdami įvertinti pastato informacinio modelio įdiegimo privalumus ir barjerus. Siekta įvertinti BIM panaudojimo santykį AEC (architektūros, inžinerijos, statybos) kompanijose Jungtinėje Karalystėje, Jungtinėse Amerikos Valstijose ir kitose šalyse. Buvo apklaustos ir kompanijos, kuriose nenaudojamas BIM. Kompanijoms pateiktas klausimynas, kokie BIM diegimo barjerai. Klausimynai buvo išsiųsti AEC pramonės praktikams ir akademikams. Žinoma, kad JAV lyderiauja pagal BIM panaudojimą. Jungtinėje Karalystėje BIM technologijų galimybių vertinimo tyrimai vis dar vyksta ir nedaug kompanijų yra įsidedusios BIM. Iš 67-ių respondentų 21-as buvo iš Jungtinės Karalystės, 23-ys iš JAV ir 23-ys iš kitų šalių. 25 % respondentų iš JAV ir JK pažymėjo, kad didžiausias BIM privalumas – trumpesnis projektavimo laikas. 25 % apklaustųjų Jungtinėje Karalystėje mano, kad sumažėja išlaidų ir žmogiškųjų išteklių. Daugiau nei 10 % abiejų šalių apklaustųjų mano, kad BIM technologijų privalumai yra: kūrybiškumas, tvarumas, padidėjusi kokybė. Pagal tyrimo rezultatus apie 40 % JAV respondentų ir 20 % JK respondentų mano, kad jų kompanijos turės išnaudoti daug laiko ir žmogiškųjų išteklių apmokymų procesui. Pabrėžiama, kad sprendimai organizacijose priimami remiantis verslo perspektyvomis (gauti pelno). AEC pramonė nesiryžta investuoti į BIM, kadangi trūksta informacijos apie BIM diegimo finansinę naudą. Be to, reikia įvertinti ir architektų bei projektuotojų socialinius ir asmeninius darbo įpročius. Projektuotojai yra patenkinti savo darbų kokybe, todėl dažnai pokyčiai jiems nepriimtini. Tyrime minimi kiti barjerai: pakanka naudojamos technologijos (programinės įrangos, įgūdžių); darbuotojai atsisako būti apmokomi, BIM nėra tinkama visiems projektams; daug kainuoja ir mokymai ir neaiški autorinių teisių nuosavybė. Pagal McGraw Hill Construction atliktus tyrimus 2/3 BIM vartotojų įžvelgia teigiamą ROI savo investicijoms. Beveik pusė vartotojų (48 %) ROI rodiklis yra vidutinio lygio. Vartotojai, vertinantys ROI, išskiria 5–6 pagrindinius faktorius, turinčius įtakos BIM programų naudojimui (McGraw-Hill-Construction, 2008):

1. Pagerinti projektų rezultatai (sumažėjo klientui pateikiamos informacijos poreikis (RFI – Request for Information)).
2. Efektyvesnis bendradarbiavimas naudojant 3D vizualizacijas.
3. Personalo produktyvumo pagerėjimas.
4. Teigiamas poveikis laimint projektus.
5. BIM gyvavimo ciklo vertė.
6. Pradinė personalo mokymo kaina.

Remiantis McGraw-Hill-Construction atliktais tyrimais (2010) 27 % potencialių BIM programų vartotojų vakarų Europoje nėra susidomėję šiomis programomis. To priežastis – statybos ekonominiai skirtumai šalyse. Vakarų Europos šalyse vykdomi daug mažesnės apimties projektai, dažnai atliekamas jau esamų projektų rekonstravimas / modernizavimas – todėl aplinka šiose šalyse mažiau palanki BIM naudojimui. Pagal atliktas apklausas (McGraw-Hill-Construction, 2010) 70 % profesionalių vartotojų teigimu BIM jie naudoja daugiau nei 60 % savo projektų. Tuo tarpu 46 % pradedančiųjų BIM vartotojų nuomone, jie pastato informacinį modelį naudoja daugiau kaip 15 % savo vykdomų projektų. Įvertinus visus vakarų Europos BIM vartotojus – 59 % naudoja BIM programas daugiau kaip 30 % projektų. Daroma išvada, kad BIM programų subtilybes įsisavinę vartotojai geriau integravo BIM į savo vidinius projektavimo procesus.

Remiantis Lietuvos statybos organizacijos „Skaitmeninė statyba“ gairėmis 2014–2020 metams (2014) išskiriama BIM nauda pagal statinio statybos procesus statinio gyvavimo cikle: geresnis naujų teritorijų planavimas bei projektavimas, mažiau klaidų ir racionalesni sprendimai. Projektavimo procesas kokybiškesnis ir racionalesnis, mažesnis objekto pakeitimų poreikis ateityje. BIM modelis vizualizuoja visų projektavimo dalių projektinius sprendinius, todėl užsakovas geriau suvokia rezultatus, eliminuojamos klaidos, atsirandančios sankirtoje tarp atskirų projekto dalių.

Nėra vieno plačiai priimto skaičiavimo metodo kompanijos investicijų grįžimui įsidiepus BIM. Dauguma vartotojų šį grįžimą suvokia kaip laiko, pinigų ir pastangų BIM diegimui grįžimą (McGraw-Hill-Construction, 2014). Skaičiuojamas ROI rodiklis yra ne konkretaus projekto investicijų grąža, bet apskaičiuota BIM programų atsipirkimas. Pirmaisiais metais pradinėje BIM pasisavinimo stadijoje neigiamas ROI ar lygus investicijoms pastebimas mažesnėse organizacijose, kurioms ilgiau užtrunka įsisavinti pradines išlaidas dėl programinės įrangos kainos, apmokymų ir verslo plėtojimo naudojant BIM. Pagrindiniai projekto, kuriame naudojamas BIM projektavimas naudos gavėjai yra projektuotojai ir rangovai (Cao *et al.* 2015). Rangovai dažniausiai greičiau pasiekia teigiamą ROI negu projektuotojai, kadangi jie gauna didesnę finansinę naudą – sumažėja pakartotinio darbo, padidėja pelnas.

Didžiausią ROI pasiekia vartotojai, turintys ilgametę patirtį su BIM, tvirtus įgūdžius, ilgametę patirtį, aukštą BIM įsisavinimo lygmenį (McGraw-Hill-Construction, 2014). Sekančiame etape bus atliekami BIM ROI skaičiavimai, kuriais bus bandoma paneigti „Autodesk Revit“ ROI skaičiavimus, kurių ilgametę patirtis nėra pagrindinis rodiklis.

3.3.2. Atsiperkamumo tyrimai

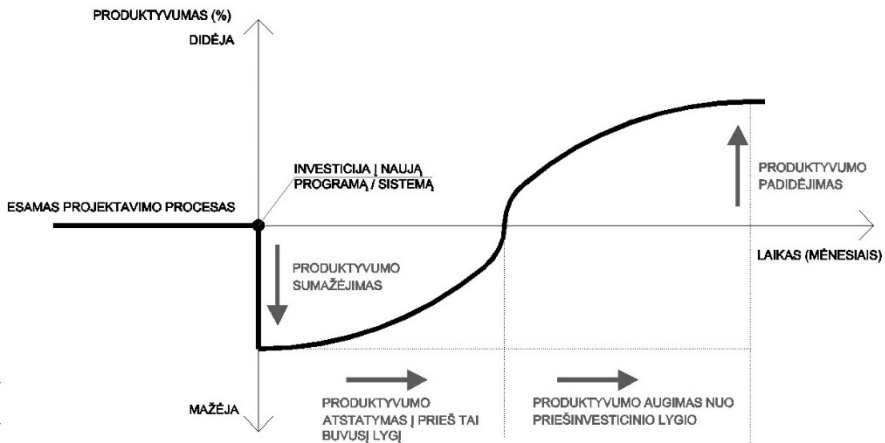
Remiantis naujausios literatūros apžvalga yra keletas metodų, kurie analizuoja BIM investicines perspektyvas. Žinomiausias yra investicijų grįžimo analizė (Return of Investment – ROI), PENG modelis ir visiško ekonominio poveikio (Total Economic Impact) modelis. ROI analizė atliekama CIFE kai kuriems projektams (Giel *et al.* 2010). Taip pat pirmųjų metų ROI skaičiuojamas „Autodesk Revit“ kompanijos. PENG modelis naudojamas Švedijos statybos pramonėje apskaičiuoti, kiek sutaupoma naudojant BIM. TEI modelis yra naudojamas CIFE įvertinti VDC (Virtual Design and Construction) naudojimo poveikį visai kompanijai ir apskaičiuoti sistemos atsipirkimo laiką.

Užsienio autorių tyrimai parodo, kad analizuoti BIM atsiperkamumą galima įvairiais aspektais. CIFE atlieka ROI analizę (kompanijos Holder Construction): skaičiuoja ROI vientisai 10-iai projektų, kuriuose buvo panaudotos BIM technologijos, įvertina santaupas. Dažnai atliekamos lyginamosios 2 variantų studijos: vertinami du panašūs projektai, (viename buvo panaudotas BIM, antrame projektavimo darbai atlikti tradiciniu metodu). „Autodesk Revit“ yra sukūrę modelį apskaičiuoti pirmųjų metų ROI (investicijų grįžimą), kuriame įvertinama programinės įrangos kaina, darbo sąnaudos, produktyvumo sumažėjimas, produktyvumo padidėjimas, apmokymų trukmė. CIFE (Center for Integrated Facility Engineering from Stanford University – Integruotos pramonės inžinerijos centras Stenfordo universitete) naudoja visiško ekonominio poveikio modelį (TEI – Total Economic Impact) išsiaiškinti skaitmeninio projektavimo teikiamus privalumus. Pastarasis metodas labiau paremtas BIM investicijų atsipirkimo laiko įvertinimu (Sen, 2012).

Įvertintas BIM investicijų atsiperkamumas Jungtinėje Karalystėje, Prancūzijoje ir Vokietijoje (McGraw-Hill-Construction, 2010). 71 % Jungtinės Karalystės vartotojų gauna teigiamą investicijų atsipirkimą (37 % vartotojų investicijos grįžtą 25 % ir daugiau). Tuo tarpu neigiamas ROI – 13 % vartotojų. Šis skaičius didžiausias iš vertintų trijų šalių. Pancūzijoje teigiamas ROI pastebimas net 82 % vartotojų ir tik 5 % – neigiamas ROI rodiklis. Mažiausias teigiamas gaunamas ROI – 67 % vartotojų Vokietijoje ir 9 % – neigiamas ROI. 55 % nesinaudojančių BIM programomis išskiria, kad pirma to priežastis – nėra BIM poreikio iš kliento pusės. Be to, reikalingas laikas įvertinti tinkamą

programinę įrangą, didelės investicijos. Mažos įmonės vakarų Europoje neskuba diegti BIM, kadangi BIM mažiau efektyvus mažesniems projektams.

„Autodesk“ siūlomas ROI skaičiavimo metodas įvertina ne tik pačios sistemos kainą, bet ir produktyvumo pokyčius. Kai įsigyjama nauja sistema pastebimas staigus produktyvumo sumažėjimas, kadangi vartotojai turi mokytis naudoti naują programą. Po apmokymų ir tam tikro įsisavinimo laiko produktyvumo kreivėje pastebimas šuolis (3.7 paveikslas).



3.7 pav. Projektavimo paslaugų produktyvumas įdiegus BIM sistemą
(Return on Investment with Autodesk Revit, 2004)

Fig. 3.7 Design productivity during BIM system implementation
(Return on Investment with Autodesk Revit, 2004)

BIM ROI negalėtų būti matuojamas nuo projektavimo iki statybos pabaigos ar nugriovimo. Dažnai BIM projektavimo iniciatoriai yra statybos bendrovės, kurios pačios nenori ar nesugeba kurti projektavimo padalinių, o BIM projektavimo svorį bando užkrauti projektuotojams. O tuo tarpu projektuotojas žiūri į savo siūlomų paslaugų atsiperkamumą. Projektuotojo darbas prasideda nuo užduoties projektavimui ir komercinio pasiūlymo parengimo; o baigiasi su projektui išimtu statybą leidžiančiu dokumentu ir projekto perdavimo priėmimo aktu. Statybos rangovas dažniausiai atsiranda jau turint statybos leidimą. Dažniausiai statytojas statybos rangovą kaip ir projektuotoją renkasi pagal mažiausią kainą. Vertinant investicijų atsiperkamumą (ROI) galima smarkiai iškreipti atsiperkamumo kreivę. Vienas būdas: atsiperkamumo etapas imamas nuo projektavimo pradžios iki statybos pabaigos. Projektuotojui nėra svarbu, kada baigsis statybos, jei jis nėra pasirašęs autorinės priežiūros ar techninės priežiūros sutarties, todėl investicijų atsiperkamumas (ROI) negalėtų būti

vienodai matuojamas projektavimo ir statybos įmonėms. BIM projektavimas negali būti priverstinis, viskas turi vykti nuosekliai ir savo noru.

Dažniausiai projektavimo įmonės dirba pagal 3.1 paveiksle pateiktą modelį, todėl teisingas ROI vertinimas yra diskutuotinas. Statytojas, projektuotojas, rangovas – skirtingos šalys, kurioms labiausiai rūpi jų išlaidos ir pelnas, todėl jų atžvilgiu vientisas ROI skaičiavimas visam pastato gyvavimo laikotarpiui taip pat yra neteisingas.

ROI (Return of Investment) – rodiklis, apibūdinantis investicijų, reikalingų BIM technologijų diegimui, grįžimą. ROI apskaičiuojamas (Return on Investment with „Autodesk Revit“, 2004):

$$ROI = \frac{Uždarbis}{Kaina}.$$

Pirmųjų metų ROI apskaičiuojamas:

$$ROI = \frac{(B - (\frac{B}{1+E})) \cdot (12-C)}{A + (B \cdot C \cdot D)}. \quad (3.1)$$

Kintamieji formulėje:

A – Programinės įrangos kaina (eurais).

B – Mėnesinis darbo užmokestis darbuotojui (eurais).

C – Apmokymų trukmė (mėnesiais).

D – Produktyvumo sumažėjimas dėl mokymų (procentais).

E – Produktyvumo padidėjimas po mokymų (procentais).

Kyla klausimas, ar „Autodesk“ siūlomas ROI skaičiavimo metodas įvertina visus svarbius kintamuosius. Apskaičiuojant investicijų atsiperkamumą reikėtų įvertinti:

1. Programinę ir techninę įrangą.
2. Apmokymus.
3. Vystymo procesus.
4. Sąveikos sprendimus.
5. 3D bibliotekų vystymą.
6. Konsultanto paslaugas.

Autorius siūlo kitokią ROI skaičiavimo metodiką („ROI MR“), įvertinant daugiau kintamųjų. Žodinė siūlomos ROI pirmiems metams formulės išraiška:

$$ROI \text{ MR (pirmiems metams)} = \frac{(\text{padidėjimas po investicijų} - \text{investicijų kaina})}{\text{investicijų kaina}}.$$

Norint teisingai suprasti investicijų atsiperkamumą, išnagrinėjami kintamieji.

Siūloma ROI formulė:

$$ROI\ MR\ (pirmiems\ metams) = \frac{((12 - C) \cdot (1 + E) \cdot (B \cdot F \cdot G)) - (A + (C \cdot B \cdot D))}{A + (C \cdot B \cdot D)}. \quad (3.2)$$

1. Padidėjimas po investicijos=(12 mėnesių – apmokymų trukmė (mėnesiais)) x produktyvumo padidėjimas (kartais) x mėnesinis darbo užmokestis (eurais) x tiesioginis projektavimo darbas (kartais) x įmonės darbų specifiškumas (kartais) (3.3.3 skyrelis).

2. Investicijų kaina – programinės įrangos kaina + (apmokymų trukmė x mėnesinis darbo užmokestis x produktyvumo sumažėjimas dėl mokymų).

Kiekybiniai rodikliai taip pat turėtų būti įvertinti. Vertinant investicijų atsipirkimą svarbu vizualizacijos, produktyvumo padidėjimas, procesų patobulinimas – sumažinta pakartotinio darbo ir tam tikros srities koordinavimo problemų, konkurencinis pranašumas, bendravimo ir bendradarbiavimo gerinimas (McGraw-Hill-Construction, 2009).

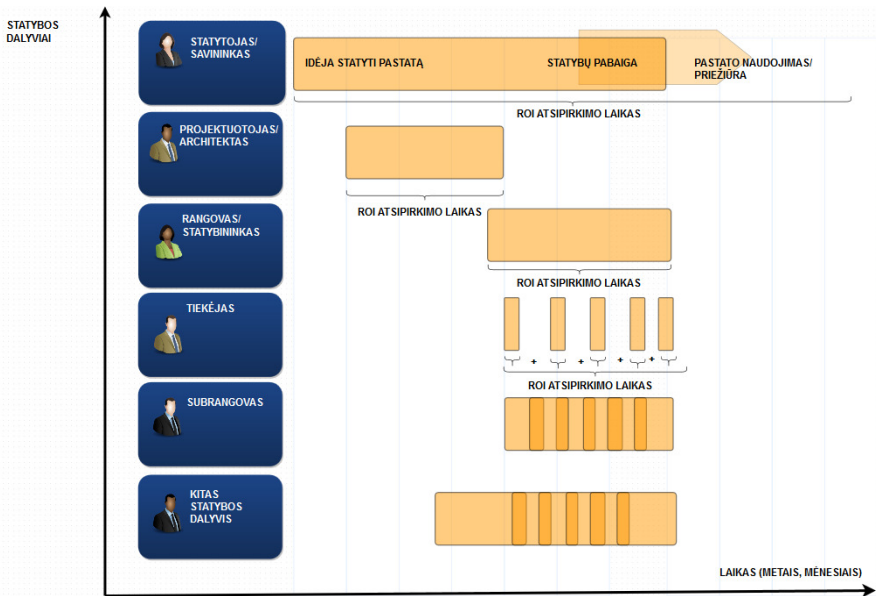
Norint įvertinti BIM naudą ir siekiant įvertinti investicijų atsipirkimą būtina atsižvelgti į šiuos veiksnys: kiek nauja sistema sutaupys, ar naujų programų panaudojimas padidins įmonės akcijų vertę arba pelningumą, kiek laiko truks apmokyti naujus vartotojus.

Kai kurie kintamieji, esantys formulėje turi didesnę reikšmę nei kiti. Remiantis „Autodesk“ ROI skaičiavimo metodika (Return on Investment with Autodesk Revit, 2004) matoma, kad didžiausią įtaką ROI turi produktyvumo rodiklis – produktyvumo padidėjimas ir sumažėjimas. Šiek tiek mažiau įtakos turi apmokymų trukmė ir mėnesinės darbo išlaidos. Mažiausiai įtakos investicijų atsipirkimui turi sistemos kaina. Tačiau mažuma perka naują programinę įrangą, kadangi dažniausiai skiriamas dėmesys būtent naujos sistemos išlaidoms ir pamirštami žmogiškieji ištekliai.

Produktyvumo paslaptis- apmokymai. Kuo anksčiau pradedami mokymai – tuo geriau. Produktyvumas po mokymų padidėja iš karto ir yra ilgalaikis veiksnys. „Autodesk“ atliekami tyrimai parodo, kad didelis skirtumas tarp apmokytų ir neapmokytų darbuotojų įgūdžių bėgant laikui išauga. Be to, neapmokyti darbuotojai niekada nepasiekia apmokymus baigusią darbuotojų produktyvumo. Įgudę vartotojai yra 50 % produktyvesni nei savamoksliai.

Tyrimų rezultatai taip pat parodė, kad produktyviausi buvo vartotojai, kurie buvo mokomi nuo nulio, dar neturėję sąlyčio su programa. Vartotojai, kurie po programos įsigijimo savarankiškai bandė susipažinti su programa produktyvumo neprilygo pilnai apmokytiems vartotojams. Apmokymų neturėję darbuotojai buvo mažiausiai produktyvūs. Duomenys parodo, kad kritinis apmokymų laikotarpis – 1–2 mėnesiai. Jei įsigijus programą laukiama daugiau nei 2 mėnesius ir tik po to einami apmokymai atsiranda blogi įpročiai, išsivysto neteisingi programos vartojimo įgūdžiai, kurie pakenkia pasiekti

didelį produktyvumą (Return on Investment with Autodesk Revit, 2004). 3.9 paveiksle pateikiamos sritys, kuriose turi būti matuojamas ROI – pabrėžiama, kad ROI negali būti matuojamas tik vienai iš šių sričių. Iš paveikslą matoma, kad pastato informacinis modeliavimas visu pastato gyvavimo laikotarpiu naudingiausias statytojui. Jam atsiperkamumo laikas yra ilgiausias. Tuo tarpu projektuotojas / architektas BIM modeliu naudoja tik projektavimo laikotarpiu, laikas konkretaus projekto atsipirkimui yra daug mažesnis. Rangovams BIM atsipirkimo laikas yra šiek tiek ilgesnis, todėl jie užsienio tyrimų duomenimis jaučia didelę BIM naudą. Kiti statybos dalyviai, kaip tiekėjai, subrangovai ir t. t. projekte dalyvauja tik dalinai, todėl jiems ROI laikas dar labiau sutrumpėja.



3.9 pav. Investicijų atsiperkamumo vertinamos sritys (sudaryta autoriaus)

Fig. 3.9. ROI assessed areas (author created)

3.3.3. BIM programų atsiperkamumo įvertinimas

Atlikus esamų tyrimų analizę, užsienio autorių ir kompanijų BIM technologijų diegimo atsipirkimo skaičiavimus, paaiškėjo, kad kol kas BIM technologijų privalumai, didelis ROI, neįtikino daugelio projektavimo įmonių ir jos neskuba diegti pastato informacinio modelio programų. Tai sąlygoja keletas priežasčių. Visų pirma, ROI skaičiavimai atliekami dideliems projektams, kuomet BIM naudojamas ne tik projektavime, bet ir statyboje bei valdyme. Aukšti ROI rodikliai atrodo

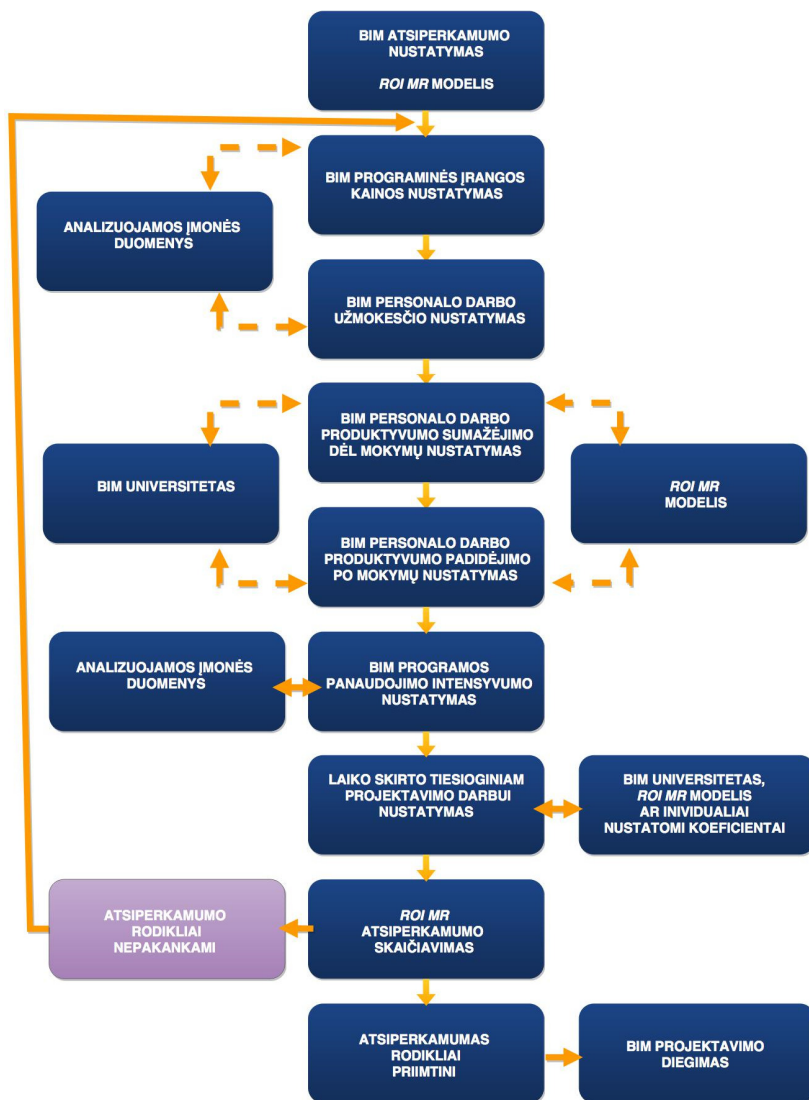
neįtikimi, kai skaičiavimuose pateikiami rodikliai viršija 100 %, jau po pirmųjų BIM įsidiegimo metų. Tokie skaičiai atrodo neįtikimi, ir jie gali apibūdinti tik didelių statybos pramonės gigantų – projektavimo centrų, konsorcių, kompanijų vykdančių tiek projektavimą, tiek statybas, veiklą. Vidutinė ar maža projektavimo įmonė, užsiimanti galbūt tik projektavimu, tokios naudos, atsipirkimo per vienerius metus ($ROI \geq 100\%$) tikrai nepajus. Visų pirma nukentės esami projektai dėl darbuotojų mokymų, bus reikalingos didelės investicijos, galbūt paskola, kurią pasiėmus grąžinti reikės ir palūkanas. Norint teisingai įvertinti BIM investicijų atsiperkamumą buvo apklausta 10 BIM programas įsidiegusių projektavimo įmonių projektuotojų. Gauti rezultatai pateikti 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Apklausos rezultatai (sudaryta autoriaus)

Table 3.1. Results of a survey (author created)

Koks produktyvumo sumažėjimas tikėtinas įvedant BIM projektavimą?	34 %
Kiek laiko trunka, kol produktyvumas atstatomas į prieš tai buvusį lygį įvedus BIM?	2,3 mėnesio
Koks tikėtinas maksimalus produktyvumo augimas (padidėjimas) pilnai įvaldžius BIM projektavimo programas?	31 %
Kiek laiko gali vykti produktyvumo augimas, kol bus pasiektas maksimalus lygio (padidėjimas)?	4,8 mėnesio

Pagal pateiktą užsienio autorių ROI skaičiavimo metodiką, matoma, kad yra nemažai kriterijų, kintamųjų, kuriuos reikia įvertinti norint teisingai apskaičiuoti investicijų atsiperkamumą. Pateikiamuose BIM atsiperkamumo skaičiavimuose matoma, kad ne visi svarbūs kintamieji yra įvertinti. Be to, užsienio autorių pateikiami skaičiai, kai ROI rodiklis jau po pirmųjų BIM įsidiegimo metų viršija 100 %, yra neįtikinantys. Atlikus pavyzdinių skaičiavimų pakartojimus, negaunamos tokios pačios ROI rodiklio skaitinės vertės, todėl kyla klausimas, ar skaičiavimai atlikti teisingai, ar formulėje nėra paslėptų kintamųjų, ar skaičiavimai atitinka realybę? Kadangi „rankinis“ skaičiavimas nėra pateiktas, išsiaiškinti ROI skaičiuoklės subtilybes yra neįmanoma. Be to, būtina įvertinti tai, jog kiekvienoje šalyje yra skirtingos darbo sąlygos, užmokestis, skirtingos galimybės didelėms ir „mikro“ įmonėms. Remiantis jau atliktais tyrimais BIM atsipirkimo srityje, sudaroma pakoreguota ROI skaičiavimo formulė, sukurama skaičiavimo metodika. 3.10 paveiksle pateikiamas BIM atsiperkamumo nustatymo „ROI MR“ veikimo modelis. 3.3 lentelėje pateikiamas formulėje esančių kintamųjų apibūdinimas pagal „Autodesk Revit“ (2004) ir naujai siūlomi įvesti kintamieji projektavimo įmonei, veiklą vykdančioje Lietuvoje.



3.10 pav. BIM atsiperkamumo nustatymo „ROI MR“ modelis (sudaryta autoriaus)

Fig. 3.10. BIM ROI model „ROI MR“ (author created)

Siekiant įvertinti BIM naudą projektavimo įmonei atliekama analizė. Vertinama „mikro“ projektavimo įmonė, kuri veiklą vykdo daugiau nei dujus metus, joje dirba architektai, inžinieriai – konstruktoriai, energinio naudingumo sertifikavimo ekspertai. Įvertinus skirtingas programas, siekiama surasti programų derinį ar programą, kuri tiktų tiek architektui, tiek ir inžinieriaus

darbui. Analizė taip pat gali būti naudinga naujai besikuriančiai įmonei ar neseniai pradėjusiai vykdyti savo veiklą.

Buvo apklaustos trys projektavimo programos platinančios įmonės. Yra dvi alternatyvos, kurių pagrindu yra siūloma įmonėje diegti BIM technologijas: „Autodesk“ ir „Archicad“. Siekiant gauti visapusiškesnius rezultatus, įvedama alternatyva – programa, kuri neturi BIM projektavimo galimybių – „ZwCAD+ Profesional“.

Svarbu paminėti, kad „ZwCAD“ projektavimo programa yra alternatyva „AutoCAD“ programai. Pasirinkus šią programą kvalifikacijos kelti, leisti papildomų įmonės lėšų mokymams nereiks. „Autodesk“ kompanija kaip projektavimo programų dominantė savo programas pardavinėja sugrupavusi į paketus. Į „Autodesk“ siūlomą komplektą įeina tokios programos: „AutoCAD“, „AutoCAD Architektūra“, „AutoCAD MEP“, „AutoCAD Structure Detailing“, „Autodesk Showcase“, „Autodesk Revit“, „Autodesk 3ds Max Design“, „Autodesk Raster Design“, „Autodesk ReCap“, „Autodesk Navisworks Manage“, „Autodesk Inventor“, „Autodesk InfraWorks“, „Autodesk Robot Structure Analysis Profesional“ (konstrukcijų skaičiavimo programa). „ArchiCAD“ programinės įrangos komplekte taip pat yra programiniai priedai: „BIM Server“, „BIMx“ ir „Eco Evaluation“ (energijos vertinimas). Pastebima, kad „mikro“ ar mažai įmonei, kurioje dirba keletas darbuotojų, projektai nėra dideli tokie komplektai siūlomų programų atžvilgiu yra pertekliniai, geriausia atveju įmonė naudosis 2–3 programomis, kurios gaunamos kartu su paketu. Vis dėl to, projektavimo programą ketinanti įsigyti įmonė apribojama, motyvuojant, kad kaina už visą programų paketą ar vieną programą išliks ta pati.

3.2 lentelėje pateikiamos 3 programinės įrangos alternatyvos, kurios pagal pateiktus kriterijus yra analizuojamos ir bandoma parinkti optimalų variantą nagrinėjamai „mikro“ įmonei. Lentelėje pateikiami duomenys dviem darbo vietoms (architekto ir konstruktoriaus). Pastebima, kad siūlomų kursų trukmė yra palyginus neilga 24–40 akademinių valandų (0,6–1 darbo savaitė). Manoma, jog tai marketingo priemonė, kuri vartotojui leidžia suprasti, kad programos valdymas yra pakankamai lengvas, kurį galima išmokyti per tokį trumpą laiką.

Norint pasirinkti tinkamą alternatyvą, reikia įvertinti projektų dydį, skaičių, BIM poreikį projektams, kompiuterių parametrus, kad darbas būtų optimalus. Jeigu kompiuterinė įranga yra netinkama, ją reikia tobulinti arba įsigyti tokią, kuri tiks galingesnėms programoms.

3.2 lentelė. Projektavimo paslaugų „mikro“ įmonėje programinės įrangos vertinimo alternatyvos (sudaryta autoriaus)

Table 3.2. Software evaluation alternatives of „micro enterprise“ design services (author created)

Alternatyva	Programos kaina, € (su PVM)	Reikalingi kompiuterio parametrai	Metinės prenumeratos kaina, €	Siūloma kursų trukmė, val.	Kursų kaina 1 asmeniui, €
I variantas (architekto darbo vieta)	4485,64	<ul style="list-style-type: none"> • 64-bit operacinė sistema • 4GB RAM vidinė atmintis • Procesorius: 2-jų branduolių 	588,74	40 / 1 darbo vietai	173,77 (4,34 €/val)
II variantas	562,0	<ul style="list-style-type: none"> • 1GB RAM vidinė atmintis • Procesorius: Intel® Pentium 4 1.5 Ghz or equivalent AMD® 	242,0	Nereikia	Nereikia
III variantas (arch. + konstr. darbo vieta)	23788,6 (8349 + 15439,60)	<ul style="list-style-type: none"> • 64-bit operacinė sistema • 4GB RAM vidinė atmintis • Single- or Multi-Core Intel® Pentium®, Xeon®, or i-Series processor or AMD® 	3218,6 (1089,0 + 2129,6)	24 / 1 darbo vietai	1250 (52,08 €/val)

Svarbu paminėti, kad skaičiuojant investicijų į BIM projektavimą atsiperkamumą, galėtų būti vertinama ir daugiau rodiklių:

1. Darbuotojų skaičius prie vieno projekto.
2. Laikas, sugaištamasis prie vieno projekto.
3. Projekto pelningumas.
4. Įmonės apyvartos rodikliai ir kt.

3.3 lentelė. ROI įvertinantys kintamieji (sudaryta autoriaus)**Table 3.3.** ROI variables (author created)

Kintamojo simbolis	ROI „Autodesk Revit“	Skaitinė vertė	ROI „ROI MR“	Skaitinė vertė
A	Programinės įrangos kaina, \$	6,000 \$	Programinės įrangos kaina ¹ , €	6000
B	Mėnesinės darbo užmokestis darbuotojui, \$	4,200 \$	Mėnesinės darbo užmokestis ² , €	4200
C	Apmokymų trukmė, mėnesiai	3 mėnesiai	Apmokymų trukmė ³ , mėnesiai	2 mėnesiai
D	Produktyvumo sumažėjimas dėl mokymų, %	50 %	Produktyvumo sumažėjimas dėl mokymų ⁴ , kartais	0,34
E	Produktyvumo padidėjimas po mokymų, %	25 %	Produktyvumo padidėjimas po mokymų ⁵ , kartais	0,31
F	Naudojamas Revit ROI skaičiavimuose, bet pozicija nebuvo nustatyta	82 %	Tiesioginis projektavimo darbas ⁶ , kartais	0,82
Naujas kintamasis				
G	-	-	Įmonės darbų specifiškumas ⁷ , kartais	0,465
	Atsiperkamumas pirmiesiems metams ROI, %	61 %	Atsiperkamumas pirmiesiems metams ROI, %	

¹ Parinktas optimalus programinės įrangos variantas, lyginant programas jų kaina vertinama neįvertinus programų prenumeratos.

² Vidutinis darbo užmokestis pagal Lietuvos statistikos departamento 2015 metų rugsėjo mėnesio duomenis 713,9 eurai (2015 – K2 visų profesijų vidurkis Bruto).

³ Apmokymų trukmė priimama 2 mėnesiai, kadangi pagal atliktus „Autodesk Revit“ tyrimus, tai minimali mokymų trukmė, per kurią įgyjami reikiami įgūdžiai. Nors programų platintojai siūlo ir trumpesnius mokymų terminus – 0,6–1 savaitė (tai tik pradiniai mokymai, o ne laikas, kurio metu įsisavinamos žinios; 3.2 lentelė). Todėl apmokymų trukmė nurodoma ne kaip apmokymų laikas, bet laikas, reikalingas pasiekti tokį patį produktyvumo lygį, koks buvo naudojantis pradine programine įranga.

⁴ Reikšmė gauta, apklausus 10 BIM programas įsidiegusių projektavimo įmonių projektuotojų.

⁵ Reikšmė gauta, apklausus 10 BIM programas įsidiegusių projektavimo įmonių projektuotojų.

⁶ Svarbu paminėti, kad „Autodesk Revit“ nagrinėjamu ROI skaičiavimo atveju šis rodiklis neapibūdina konkrečių darbo valandų – dirbama ne vien prie projektinės dalies, reikalingas laikas spausdinimui, domėjimuisi įstatymine baze, dokumentacijos rengimui. Pagal „Autodesk Revit“ ROI projektavimui skiriama 35 %, o dokumentacijos rengimui – 46 % laiko (atitinkamai 52 ir 68 valandos per mėnesį), viso 82 % laiko prie projekto. Kadangi manome kad tikslinga įvertinti šį koeficientą, tai skaičiavimuose priimame tokį patį.

⁷ Nagrinėjamos „mikro“ įmonės BIM programų panaudojimo galimybė vykdomiems projektams. 46,5 % įmonės vykdomų projektų yra reikalingas BIM projektavimas. Įmonės turi savo veiklos strategiją, kurioje numatyta, kaip pasiekti geriausių rezultatų. Tik pati įmonė žino, su kokiais objektais jie dirba dažniausiai ir kokiems projektams norėtų bei reikėtų įdiegti BIM. Dažnos Lietuvos įmonės užsiima ne viena veikla t. y. jos projektuoja ne tik naujus pastatus, bet ir atlieka rekonstrukcijas, paprastojo remonto, detaliųjų planų projektus (STR 1.05.06:2010, STR 1.01.08:2002). Kai kuriems projektams BIM projektavimas negali būti naudojamas ir neatneš laukiamos naudos, todėl skaičiuojant projektavimo programos investicijų atsiperkamumą, tai būtina įvertinti. Iš nagrinėjamos įmonės ekonominių rodiklių ataskaitos nustatyta, kad 46,5 % įmonės vykdomų projektų galima panaudoti BIM projektavimo programas.

Pirmajam modelio „ROI MR“ palyginimui suvedami tokie patys skaičiai kaip ir „Autodesk Revit“ specialistų, tik įvertinus naująjį koeficientą: G (įmonės specifiškumas). Rezultatai pateikiami 3.4 lentelėje.

Suskaičiavus ROI rodiklį skirtingais būdais pastebimas didelis skirtumas. „Autodesk Revit“ siūlomas atsiperkamumo skaičiavimas rodo, kad nepaisant to, kad darbuotojo darbo užmokestis yra daugiau nei 6 kartus mažesnis nei pati projektavimo programos kaina, jau pirmais metais programa atsipirks 32 procentus jos kainos. Logiškai mąstant neįvertinus dviejų kintamųjų F ir G, toks atsiperkamumo rodiklis atrodo neįtikėtinas. Jei darbuotojas, kurio vidutinis darbo užmokestis 714 eurų per mėnesį dirbs su BIM programa, jis per metus uždirbs tik 8568 eurus ir ši suma nedaug viršija projektavimo programos kainą. O jei dar įvertinama, kad dirbdamas su naująja projektavimo programa jis pirmus 2,3 mėnesio dirbs nuostolingai, t. y. padarys 34 % ar 0,34 karto mažiau darbų o likusius 9,7 mėnesio padarys 31 procentą daugiau darbų nei prieš diegiant BIM, vis vien gaunami atsiperkamumo rezultatai neįtikinami, kitaip tariant – pernelyg optimistiški.

3.4 lentelė. „Autodesk Revit“ ir „ROI MR“ skaičiavimų palyginimai (sudaryta autoriaus)
Table 3.4. Comparison of „Autodesk Revit“ and „ROI MR“ calculations (author created)

Kintamojo simbolis	ROI „Autodesk Revit“	Skaitinė vertė	ROI „ROI MR“	Skaitinė vertė
A	Programinės įrangos kaina, €	4485,64 €	Programinės įrangos kaina ¹ , €	4485,64 €
B	Mėnesinės darbo užmokestis darbuotojui, €	714 €	Mėnesinės darbo užmokestis ² , €	714 €
C	Apmokymų trukmė, mėnesiai	2,3 mėnesiai	Apmokymų trukmė ³ , mėnesiai	2,3 mėnesiai
D	Produktyvumo sumažėjimas dėl mokymų, %	34 %	Produktyvumo sumažėjimas dėl mokymų ⁴ , kartais	0,34
E	Produktyvumo padidėjimas po mokymų, %	0,31 %	Produktyvumo padidėjimas po mokymų ⁵ , kartais	0,31
Nauji kintamieji				
F	Naudojamas Revit ROI skaičiavimuose, bet pozicija nebuvo nustatyta	82 %	Tiesioginis projektavimo darbas, kartais	0,82
G	-	-	Įmonės darbų specifiškumas ⁶ , kartais	0,465
	Atsiperkamumas pirmiesiems metams ROI, %	32 %	Atsiperkamumas pirmiesiems metams ROI, %	-31,4

Autoriaus siūloma metodika paskaičiuotas rodiklis ROI rodo, kad projektavimo programa neatsipirks per pirmuosius metus. Gaunamas atsiperkamumo rodiklis yra su minuso ženklu. Palyginimui įvertinkime du automobilius: „Mercedes“ ir „Dacia“. Abu automobiliai mus nuveža atstumą nuo taško A iki taško B. Tik vieno automobilio atsipirkimas atliekant tokią kelionę bus ženkliai mažesnis. Aišku, skiriasi ir komfortas. Nagrinėjamu BIM projektavimo atveju ir viena, ir kita programa braižant galima atlikti tokio pat pastato projektą. Esminis skirtumas – reikiamas laikas ir sąnaudų kiekis darbui įvykdyti.

Svarbu paminėti, kad nagrinėjamu atveju sprendžiama Lietuvos rinkoje veikiančios įmonės situacija. Įvertinimui naudojamas Lietuvos darbo rinkoje

dirbančio specialisto vidutinis darbo užmokestis, skaičiavimams naudojama programos kaina, kuri yra siūloma vietinėje rinkoje.

Kategoriškai teigti, kad diegti BIM projektavimo programą nėra finansinės naudos, negalima. Vienas iš ROI didžiausią įtaką turinčių veiksnių yra darbo užmokestis. Darbo užmokesčiui pakilus, o kitus kintamuosius paliekant tokios pat reikšmės – gaunamas teigiamas reikšmės programos atsiperkamumas.

Atliekami skaičiavimai, kuriais bandoma iliustruoti, koks turėtų būti darbuotojo atlyginimas, kad projektavimo programą, kuri verta apie 4500 eurų, vertėtų įsigyti ir kad ji atsipirtų per 5-ius metus.

Iš pateikto pavyzdžio matoma, kad įvedus priverstinį BIM projektavimą paslaugų kainos kils apie 2 kartus (714 € → 1375 €), kadangi įmonė turės mokėti didesnę atlyginimą darbuotojams – tokiu būdu didesnis uždarbis liks ir įmonei. Paprastam palyginimui galima paminėti, kad nagrinėjama įmonė X šiuo metu individualaus gyvenamo namo projektą iki 200 m² (projekto dalys: bendroji, architektūros, konstrukcijų, sklypo plano) atlieka už 1500 eurų. Įvedus priverstinį BIM projektavimą įmonė tą patį projektą atliktų už 3000 eurų ir tik tuo atveju, jei įmonė X pasirinktų vieną iš pigiausių BIM projektavimo programų rastų alternatyvų.

3.5 lentelė. BIM programos atsipirkimo per 5-erius metus vertinimas (sudaryta autoriaus)

Table 3.5. ROI of BIM in 5 years (author created)

Kintamojo simbolis	Skaitinė vertė		Skaitinė vertė	
A	4485,64 €		4485,64 €	
B	1375 €		1375 €	
C	2,3 mėnesiai		2,3 mėnesiai	
D	34 %		0,34	
E	31 %		0,31	
F	82 %		0,82	
G	-		0,465	
	ROI „Autodesk Revit“	57 %	ROI „ROI MR“	20 %

Kalbant apie projektavimo paslaugų greitį, nemanoma, kad tai atsiperkamumą lemiantis veiksnys. Šiuo metu nagrinėjama „mikro“ įmonė vienučio gyvenamojo namo projektą atlieka per vidutiniškai 5–6 mėnesius,

laiką pradedant skaičiuoti nuo sutarties sudarymo iki statybą leidžiančio dokumento gavimo. Svarbu paminėti, kad didžioji dalis užimamo laiko yra biurokratiniai procesai: architektūrinių reikalavimų ir specialiųjų sąlygų gavimas iki 15 darbo dienų; projekto tikrinimas įkėlus į informacinę sistemą „Infostatyba“ iki 3 d.d.; projekto derinimas „Infostatyboje“ iki 20 d.d.; Statybos leidimo išrašymo procedūra – iki 10 darbo dienų. Jei bus atliekamas pakartotinis derinimas (nepritarus projekto sprendiniams iš pirmo karto), dar prisidėtų iki 13 darbo dienų. Šie terminai pateikti remiantis LR Statybos įstatymu, Statybos techniniais reglamentais neypatingų statinių projektavimui ir statybos leidžiančio dokumento gavimui (LR Statybos įstatymas, STR 1.05.06:2010, STR 2.02.01:2004, STR 1.07.01:2010, STR 2.02.02:2004, STR 2.02.09:2005) naujos statybos atveju. Iš pateiktų terminų matome, kad statybos leidimo išėmimui vien biurokratinės procedūros trunka 48–61 darbo dienos. Labai retu atveju valstybės tarnautojai skuba atlikti darbus greičiau. Gaunamas bendras dienų skaičius iki 61 dienos – t. y. apie 3 mėnesius. Taigi, iš pateikto pavyzdžio matoma, kad neypatingų statinių projektavimui naujos statybos atveju užtrunkama 5–6 mėnesiai- iš kurių iki 3 mėnesių (48–61 darbo diena) sudaro biurokratinės kliūtys t. y. priešprojektinių dokumentų gavimas, derinimas ir statybos leidimo išdavimas.

Kad nekiltų abejonių dėl „ROI MR“ skaičiavimuose įvedamo naujojo koeficiento G, atliekami skaičiavimai jo nevertinant. Gauti rezultatai palyginami su „Autodesk Revit“ ROI gautu rezultatu. B koeficiento reikšmė imama – vidutiniškas darbo užmokestis nagrinėjamoje rinkoje (skaičiavimų rezultatai pateikiami 3.6 lentelėje).

3.6 lentelė. „Autodesk Revit“ ir „ROI MR“ skaičiavimų palyginimai nevertinant koeficiento G (sudaryta autoriaus)

Table 3.6. Comparison of „Autodesk Revit“ and „ROI MR“ calculations excluding factor G (author created)

Kintamojo simbolis	Skaitinė vertė		Skaitinė vertė	
A	4485,64 €		4485,64 €	
B	714 €		714 €	
C	2,3 mėnesiai		2,3 mėnesiai	
D	34 %		0,34	
E	31 %		0,31	
F	82 %		0,82	
G	-		nevertinamas	
	ROI „Autodesk Revit“	17 %	ROI „ROI MR“	-22 %

Daroma išvada, kad nevertinant G kintamojo, esant šiandieninės rinkos atlyginimams ir siūlomoms programų kainoms, BIM programų diegimo atsiperkamumo pirmaisiais metais nepastebima. Svarbu paminėti, kad antrais metais rezultatai bus geresni, nes darbuotojas nebepraras laiko mokymams, jo darbas bus efektyvesnis.

Grįžtant prie tyrimo tikslo – bandoma surasti įmonei X priimtinausią projektavimo programos variantą. Užduotis – surasti projektavimo programos alternatyvą plėtos atveju mikro įmonei. Buvo pasirinkti rinkoje siūlomų 3 programų atstovai. Susisiekus su jais gauti komerciniai pasiūlymai, pateikiami 3.7 lentelėje.

3.7 lentelė. Projektavimo paslaugų „mikro“ įmonėje programinės įrangos vertinimo alternatyvos (sudaryta autoriaus)

Table 3.7. Software evaluation alternatives of „micro enterprise“ design services (author created)

Alternatyva	Bendra Programos (paketo) kaina (su PVM)	Darbo vietos kaina, €		BIM projektavimo funkcija
		Architektui	Konstruktoriui	
I	4485,64	4485,64		yra
II	562	562		nėra
III	20570	8349	15439,60	yra

Visos trys alternatyvos bus palygintos tarpusavyje naudojant „ROI MR“ atsiperkamumo vertinimo metodiką. Pasitelkus sprendimo priėmimo metodą bus sprendžiama apie investavimo į projektavimo programas galimybę.

Gauti rezultatai parodė, kad investavimas į sąlyginai nebrangią programą, kurios vertė yra mažesnė nei mėnesinis darbo užmokestis, per metus gali atsipirkti daugiau kaip 4 kartus (3.8 lentelė). Būtina paminėti, kad ši projektavimo programa neturi BIM projektavimo funkcijos. Beje, šis atsipirkimo rodiklis skaičiuojamas pilnai metams apkrautam darbo laikui. Daug įmonių, ypač glaudžiai susijusių su statybomis, žiemos mėnesiais turi mažiau darbo. Dažnai statytojai (užsakovai) susirūpina apie statybas tik sušilus orams. Svarbus aspektas yra tas, kad nauja darbo vieta steigama darbuotojui, turinčiam „AutoCAD“ projektavimo įgūdžius. Būtent antroji alternatyva dirba šios programos pagrindu. Todėl antrosios alternatyvos atsiperkamumo skaičiavime nevertinama nei apmokymų trukmė, nei produktyvumo sumažėjimas dėl mokymų ar padidėjimas po mokymų.

Suformuluojamas naujas uždavinys – architekto darbo vietai būtinai reikalingas BIM projektavimas, todėl lyginamos tik dvi alternatyvas, turinčios BIM projektavimo galimybes. Bandoma išsiaiškinti, kiek atlyginimas turėtų

padidėti, kad atsiperkamumas pirmais metais siektų bent jau 20 procentų (3.9 lentelė).

3.8 lentelė. Projektavimo paslaugų „mikro“ įmonėje programinės įrangos vertinimo alternatyvos architekto darbo vietai (sudaryta autoriaus)

Table 3.8. Software evaluation alternatives of „micro enterprise“ design services for architect (author created)

Kintamojo simbolis	Skaitinė vertė I variantas	Skaitinė vertė II variantas	Skaitinė vertė III variantas
A	4485,64 €	562 €	8349 €
B	714 €	714 €	714 €
C	2,3 mėnesiai	-	2,3 mėnesiai
D	0,34	-	0,34
E	0,31	-	0,31
F	0,82	0,82	0,82
G	0,465	0,465	0,465
Atsiperkamumas 1 metams „ROI MR“	-31,4 %	481,3 %	-61,2 %

3.9 lentelė. Projektavimo paslaugų programinės įrangos alternatyvos, turinčios BIM projektavimo galimybes architekto darbo vietai (sudaryta autoriaus)

Table 3.9. Software alternatives of design services for architect (only those, which have BIM design opportunities (author created)

Kintamojo simbolis	Skaitinė vertė I variantas	Skaitinė vertė III variantas
A	4485,64 €	8349 €
B	1380 €	2560 €
C	2,3 mėnesiai	2,3 mėnesiai
D	0,34	0,34
E	0,31	0,31
F	0,82	0,82
G	0,465	0,465
Atsiperkamumas 1 metams „ROI MR“	20 %	20 %
Projektavimo paslaugų pabrangimas, kartais	1,93	3,59

Iš gautų rezultatų matome, kad pasirinkus pigesnę BIM projektavimo programą nagrinėjamos įmonės paslaugos brangtų apie du kartus (714 € → 1380 €). Tuo tarpu pasirinkus brangesnę projektavimo programą paslaugos gali brangti net iki 4 kartų (714 € → 2560 €).

Sudėtingesnis uždavinys būtų įvertinti BIM projektavimo galimybes inžinieriaus konstruktoriaus darbo vietai. Toks uždavinys pasidaro komplikuoatas dėl konstruktoriui skirtų programų specifiškumo ir reikalingų programos galimybių. Dažniausiai Lietuvoje inžinierius konstruktorius turi išmanyti visas sritis – pradedant nuo mažaauskštės statybos, baigiant sudėtingais statiniais. Nedaug įmonių specializuojasi tam tikrų statinių projektavimu, dar mažiau įmonių yra kurios atlieka tik konstrukcijų projektavimą. Natūralu, kad yra didelė projektavimo programų gausa. Pavyzdžiui, projektuojant skydinius namus, „SEMA“ projektavimo programa yra viena iš projektavimo lyderių. Ji turi tiek BIM projektavimo funkciją, tiek ir kompiuterinio konstrukcijų skaičiavimo ar pastato vizualizacijos modelius. Dalis inžinierių konstruktorių dirba su įvairiais objektais, todėl įsigyti tiek mediniams, tiek mūriniams ir gelžbetoniniams pastatams skirtas programas būtų labai brangu. Dauguma inžinierių paprastesnes konstrukcijas skaičiuoja nenaudojant automatizuotų projektavimo programų arba naudojami „MS Excel“ programa. Kitame skaičiavimo variante palyginamos BIM projektavimo programos, skirtos inžinieriui konstruktoriui. Rezultatai pateikiami 3.10 lentelėje.

3.10 lentelė. Projektavimo paslaugų programinės įrangos alternatyvos inžinieriaus konstruktoriaus darbo vietai (sudaryta autoriaus)

Table 3.10. Software alternatives of design services for engineer-constructor (author created)

Kintamojo simbolis	Skaitinė vertė I variantas	Skaitinė vertė II variantas	Skaitinė vertė III variantas
A	4485,64 €	562 €	15439,60 €
B	714 €	714 €	714 €
C	2,3 mėnesiai	-	2,3 mėnesiai
D	0,34	-	0,34
E	0,31	-	0,31
F	0,82	0,82	0,82
G	0,465	0,465	0,465
Atsiperkamumas 1 metams „ROI MR“	-31,4 %	481,3 %	-78,4 %

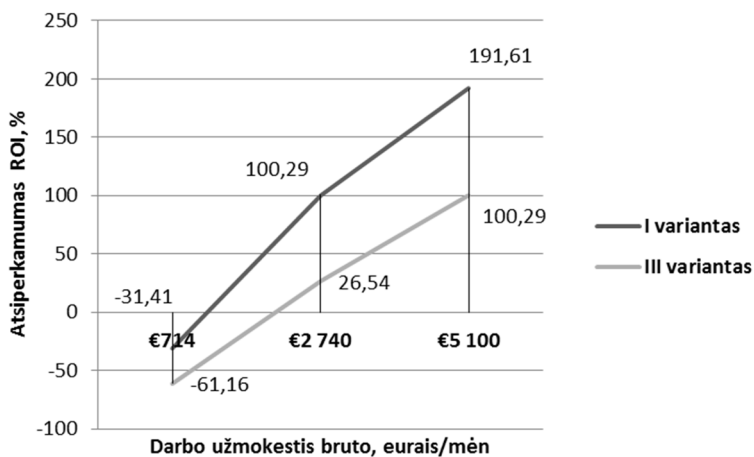
Lyginant projektavimo programas inžinieriaus konstruktoriaus darbui svarbu paminėti, kad trečioji alternatyva turi kompiuterinio skaičiavimo funkcijas, todėl inžinieriui konstruktoriui ji tikrai palengvintų darbą. Su kitomis dviem alternatyvomis inžinierius galės tik braižyti brėžinius ar BIM sistemoje modeliuoti pastato konstrukcijas. Konstruktoriaus darbui skirtos programos atsiperkamumo vertinimui reiktų atlikti papildomus tyrimus, nustatant kiek darbų jis atlieka naudojant BIM programą, ir kokiems pastatų projektams jis neišsiverstų be BIM kompiuterinių skaičiavimo programų. Todėl manoma, kad inžinieriaus konstruktoriaus, kuris projektuoja ypatingus (STR 1.01.06:2013) statinius ir didžiąją dalį jo darbo sudaro būtent tokie pastatai, darbui G koeficientas turėtų būti didesnis.

Kitame skaičiavimo variante bandomas išsiaiškinti inžinieriaus konstruktoriaus atlyginimo dydis, jei jis maksimaliai apkraunamas darbu ištisus metus, t. y. dirba be prastovų, projektuoja tik ypatingus pastatus, kuriems būtinas BIM projektavimas ir konstrukcijų skaičiavimas. Šituo atveju G koeficientą nustatome lygų 1 ir naudojame tik III programos alternatyvą, kuri vienintelė turi BIM konstrukcijų projektavimo ir skaičiavimo funkcijas. Norimą atsipirkimo laiką imame 5 metus, t. y. per pirmus metus atsipirkimas ne mažesnis kaip 20 procentų.

Pagal šį pavyzdį galima teigti, kad įmonei apsimoka pradėti galvoti apie investavimą į BIM projektavimo programą, kai ji bus pajėgi inžinieriui konstruktoriui mokėti daugiau kaip 2200 eurų atlyginimą per mėnesį.

3.11 paveiksle pateikiama atsiperkamumo ROI (%) priklausomybė nuo darbo užmokesčio bruto (eurais/mėn). Matoma, kad ši priklausomybė yra beveik tiesinė. Lyginami programų variantai, kuriuose yra BIM projektavimo galimybė. Matoma, kad esant vidutiniam darbo užmokesčiui pagal Lietuvos statistikos departamento duomenis pigesnės I alternatyvos programos atsiperkamumas neigiamas -31,41 %, o brangesnės III-ios -61,16 %. Pigesnė programa per vienerius metus atsipirktų esant darbuotojų atlyginimui 2740 eurų/mėn. Tuo tarpu brangesnė esant 5100 eurų/mėn atlyginimui.

Siekiant išsiaiškinti, kada įvyksta programos atsipirkimo lūžis įvertinamos tarpinės darbo užmokesčio reikšmės. 3.12 paveiksle pateikiama 2 lyginamų alternatyvų ROI (%) priklausomybė nuo darbo užmokesčio bruto (eurais/mėn). Matoma, kad renkantis I alternatyvų variantą lūžis įvyksta (ROI = 0 %) esant 1104 eurų/mėn atlyginimui. Tuo tarpu vertinant brangesnę III alternatyvą lūžis įvyksta esant 2055 eurų/mėn atlyginimui



3.11 pav. Investicijų atsiperkamumo priklausomybė nuo darbo užmokesčio (sudaryta autoriaus)

Fig. 3.11. ROI dependence on monthly labor cost (author created)

3.11 lentelė. Projektavimo paslaugų programinės įrangos alternatyvos, turinčios BIM projektavimo galimybes inžinieriaus konstruktoriaus darbo vietai (sudaryta autoriaus)

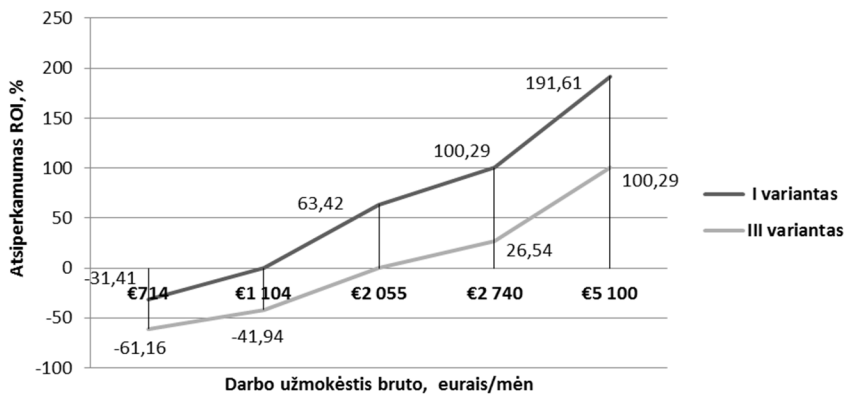
Table 3.11. Software alternatives of design services for engineer-constructor (only those, which have BIM design opportunities (author created)

Kintamojo simbolis	Skaitinė vertė III variantas
A	15439,60 €
B	2200 €
C	2,3 mėnesiai
D	0,34
E	0,31
F	0,82
G	0,9
Atsiperkamumas 1 metams „ROI MR“	20 %

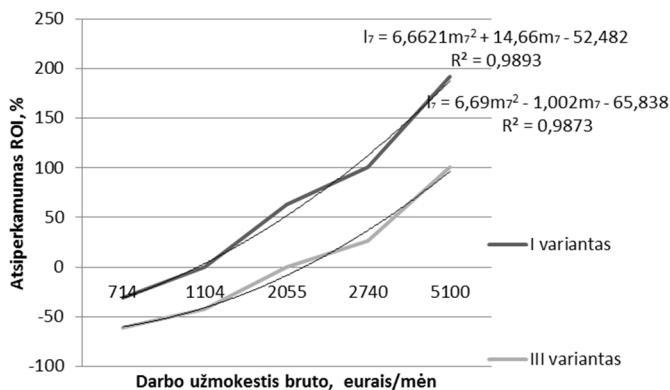
Vertinant BIM programų atsiperkamumo rodiklį ROI gaunami rezultatai atspindi dabartinės statybų rinkos trūkumus, kuomet gaunamas specialistų atlyginimas neatitinka realybės. Esant vidutiniam darbuotojų uždarbiui investicijos į BIM programas ne tik neatsiperka, bet yra neigiamos reikšmės.

Įdomu tai, kad priklausomybė nėra visiškai tiesinė. Darbo vietai I-u nagrinėjamu variantu padidinus darbuotojo atlyginimą 1,55 karto (714 € → 1104 €), o darbo vietai brangesniu III-u nagrinėjamu variantu padidinus darbuotojo atlyginimą 2,88 karto (714 € → 2055 €) gaunamas ROI = 0 %. Tai reiškia, kad investicija neatsipirko pirmaisiais metais, bet tikėtina, kad esant tai pačiai situacijai įmonėje atsiperkamumas kitais metais bus teigiamas.

Svarstant apie BIM programų atsipirkimą jau pirmaisiais metais (ROI = 100 %), matoma, kad I-uuoju variantu darbuotojo atlyginimas turėtų būti 2740 eurų/mėn., o III-uoju – 5100 eurų/mėn.



3.12 pav. Atsiperkamumo priklausomybė nuo darbo užmokesčio (sudaryta autoriaus)
Fig. 3.12. ROI dependence on monthly labor cost (author created)



3.13 pav. Statistinio ryšio stiprumo įvertinimas (sudaryta autoriaus)
Fig. 3.13. Strength evaluation of statistical relationship (author created)

Paveiksle 3.13 pateikiamas ROI (%) priklausomybės nuo darbo užmokesčio bruto (eurais/mėn) tiesinio ryšio stiprumo įvertinimas. Matoma, kad ryšys labai stiprus ($R^2 = 0,9893$ ir $R^2 = 0,9873$).

Vertinant statistinį ryšį tarp atsiperkamumo (ROI) ir vidutinio darbo užmokesčio, nustatyta stipri statistinė priklausomybė, tinkamiausiai aprašoma eksponentiniu regresijos modeliu. Tiek I, tiek II varianto rezultatai leidžia daryti išvadą, kad esant žemam vidutiniam darbo užmokesčiui, siekiant didesnio ROI, būtinas didesnis darbo užmokesčio augimas. Esant aukštam darbo užmokesčiui, analogiškas darbo užmokesčio padidėjimas turės įtakos didesniai ROI augimui.

3.4. Trečiojo skyriaus išvados

1. BIM diegimas projektavimo įmonėse yra sudėtingas procesas, keičiantis tris sritis įmonėje: technologiją, procesus ir darbuotojus (darbo įgūdžius, kvalifikaciją). Naudojant BIM projektavimo procesas greitesnis, efektyvesnis, padidėja sąnaudų skaičiavimo tikslumas, sumažėja nenumatytos išlaidos. Remiantis atliktos apklausos duomenimis, didžiausią įtaką BIM programų diegimui įmonėje turi automatizuoto 3D konstrukcijų skaičiavimo galimybė. Daroma išvada, kad įmonėms, kuriose atliekamas pilnas kompleksinis projektas patogiau naudoti vieningą BIM programą, kadangi konstrukcijos skaičiuojamos tame pačiame modelyje, kur yra kuriamas ir visas pastato informacinio modelio centrinė byla. Labiau sudėtingos pastato informacinio modelio technologijų programos naudojamos didelių gamybos įmonių, projektavimo centrų.
2. Dažniausiai projektuotojų nenorą dirbti su BIM įtakojančios priežastys: projektuojami nedideli objektai, išliekantis 2D brėžinių poreikis (detalės ir mazgai, sklypo planai), abejojama programos atsiperkamumu, neaiškumai dėl autorystės teisių. Projektuotojų prioritetai vertinant BIM technologijų diegimo poreikį: suprojektuoti pastatą, kad jis atitiktų esminius statinio reikalavimus, pateikti pagrindinių medžiagų kiekius, pagrįsti sprendinius, pateikti technines specifikacijas, pateikti svarbesnius netipinius mazgus ir detales, sutrumpinti projektavimo laiką. Svarstant BIM diegimo poreikį įmonėje projektuotojui nėra svarbu per kiek laiko bus pastatytas jo suprojektuotas pastatas, ar suprojektuoto pastato statybos vėluos.
3. Didelė nauda įdiegus BIM numatoma statybos rangos įmonėms, kadangi sukūrus tikslų pastato informacinį laiką sumažėja prastovų tikimybė, nes projektas yra tiksliai suplanuotas, tikslesni medžiagų kiekiai, lengvesnė

atliktų darbų kontrolė, darbų kalendorinis planavimas, lengviau užtikrinama darbuotojų sauga ir sveikata, geresnis sandėliavimo vietų ir sklypo išnaudojimas urbanizuotose teritorijose

4. Sukurtas BIM technologijų atsiperkamumo nustatymo metodas „*ROI MR*“, nagrinėjama ROI skaičiavimo formulė, apibūdinami naujai įvedami kintamieji. Atlikus skaičiavimus nustatyta, kad BIM technologijų atsiperkamumas yra ilgas procesas. Lygindami „*Autodesk Revit*“ ir „*ROI MR*“ skaičiavimo rezultatus naudojant tuos pačius koeficientus pastebimas didelis skirtumas: „*Autodesk Revit*“ atsiperkamumo rodiklis 17%, o „*ROI MR*“ metodu apskaičiuotas atsiperkamumo rodiklis neigiamos reikšmės -22% (3.6 lentelė). „*ROI MR*“ metodas buvo panaudotas ir atvirkštiniam skaičiavimui: išsiaiškinti darbuotojo (projektuotojo) darbo užmokestį. Žinant, kad BIM projektavimo programa kainuoja virš 15000 eurų, o projektuotas dirbs pilną darbo dieną tik su BIM programa, gautas atlyginimas (bruto) 2200 eurų. Darbuotojui uždirbant tokį darbo užmokestį programa atsipirks tik per 5 metus.

Bendrosios išvados

Apibendrinus šio disertacinio darbo rezultatus galima teigti:

1. Literatūros analizė parodė, kad vertinant BIM technologijų efektyvumą nėra bendros sistemos. Dažniausia BIM technologijų privalumai išryškinami analizuojant visą pastato gyvavimo ciklą, nors pats BIM projektavimas naudojamas tik tam tikrais etapais; projektavimas, statybų planavimas 4D, statyboms skirtų kaštų analizei 5D ar jau pastatyto pastato priežiūrai 5D. Nors pati BIM savoka atsirado pakankamai senai, dar 1987 m., šiandien ji ne mažiau aktuali, nes pradedamas visuotinis BIM diegimas.
2. Šiame darbe sukurtas 4D ir 2D projektavimo eksperimentas, kurio metu nustatyta: 4D naudojimas padeda pasiekti vidutiniškai 7 proc. didesnį statybos objekto išbaigtumą nei naudojant 2D modelį (esant vienodam statybos laiko limitui), reikalinga 12 proc. retesnė prieiga prie statybos projekto informacijos. Keturių dimensijų modelis statybos procese klaidų tikimybę sumažina iki 40 proc. Nustatyta, kad 4D modelio naudojimas padeda vidutiniškai 7 proc. sutrumpinti statybos proceso trukmę, vidutiniškai 14 proc. pagerinti statybos proceso suvokimą (visose statybos proceso grandyse), vidutiniškai 8 proc. sumažinti laiko sąnaudas projekto brėžiniams skaityti ir 67 proc. sumažinti laiko sąnaudas statybos klaidoms taisyti, lyginat su dviejų dimensijų modelio naudojimu.

3. Atlikus BIM panaudojimo statybos inžinerijos studijose vertinimo tyrimą nustatyta, kad neformaliuotu būdu studentai neįgyja BIM projektavimo žinių ir įgūdžių. Specialistai aukštosiose mokyklose ruošiami ateities darbui, o statyboje ateitis siejama su BIM. Aukštosios mokyklos turėtų didelį dėmesį skirti studijų programoms ir naujausių technologijų panaudojimui studijų procese. BIM projektavimo išmanymas leistų greičiau įsilieti į ypač reiklį šiandieninę darbo rinką.
4. Atliktas statybos produktyvumo tyrimas įvertinus 100 aukščiausių dangoraižių. Nustatyta, kad anksčiau, iki BIM technologijų atsiradimo (1987 m.) dangoraižių statybos vyko sparčiau. Senesnių pastatų, vidutinė statybų trukmė 2,7 metų, kai tuo tarpu pastatams naudojant BIM technologijas statybos trukmė siekia vidutiniškai 4,5 metų. Atlikta regresinė analizė, kurios pagalba išsiaiškinta, kad visais nagrinėtais atvejais determinacijos koeficientas mažas ir rodo silpną priklausomybę (maksimalus determinacijos koeficientas – 0,2244, mažiausias – 0,0352, kurie rodo patikimą, tačiau silpną ryšį). Nagrinėtos priklausomybės tarp pastato aukštų skaičiaus, aukščio, ploto ir statybos trukmės.
5. Atlikus BIM technologijų projektavimo įmonėje daugiapakopį vertinimą nustatyti dalyviai ir jų kompetencijos sritys. Didelė atsakomybė tenka aukštajai mokyklai (BIM universitetui), kuri kaip partneris, konsultantas gali prisidėti prie sėkmingo BIM diegimo (rengiant kursus, įvertinant investicijų atsipirkimo galimybes, ruošiant reglamentus).
6. Sukurtame BIM technologijų investicijų atsiperkamumo (ROI) skaičiavimo metode „*ROI MR*“ nustatomi ir apibūdinami kintamieji: programinės įrangos kaina, darbo užmokestis, apmokymų trukmė, produktyvumo sumažėjimas dėl mokymų, produktyvumo padidėjimas po mokymų, tiesioginis projektavimo darbas, įmonės darbų specifiškumas.
7. Skaitinė analizė parodė, kad taikant „*ROI MR*“ metodą skaičiuojant projektavimo įmonės atsiperkamumą, galima ne tik nustatyti BIM investicijų atsiperkamumą (pirmiems metams), bet ir gali būti įvertinta, koks turėtų būti darbuotojo darbo užmokestis, kad investicijos atsipirktų į tam tikrą programinę įrangą. Lyginant „*Autodesk Revit*“ ir „*ROI MR*“ investicijų atsiperkamumo (ROI) skaičiavimo rezultatus nustatyta, kad „*Autodesk*“ programų gamintojai pateikia daug optimistiškesnius rezultatus lyginant su „*ROI MR*“. Investicijoms į programinę įrangą, kuri kainuoja apie 4500 EUR atsiperkamumo rodiklis skaičiuojant „*ROI MR*“ metodu yra neigiamos reikšmės (-22%), o pagal „*Autodesk Revit*“ pateikiamus duomenis – teigiamas (17 %).

Literatūra ir šaltiniai

„BIMsolutions“. 2015. Implementation Strategies [interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. sausio 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.bimsolutions.ca/implementation-strategies.html>

„Skaitmeninės statybos Lietuvoje gairės 2014–2020“, 2014. [interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. gruodžio 18 d.]. Prieiga per internetą: http://www.skaitmeninestatyba.lt/files/140724_Skaitmenines_statybos_Lietuvoje_2014–2020_GAIRES_v2.pdf

Alshaw, M.; Goulding, J.; Khosrowshahi, F.; Lou, E.; Underwood, J. 2008. Strategic positioning of IT in construction, an industry leaders' perspective, *The Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, Nottingham University Press.

Applecore Designs, 2014. About BIM. [interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. gruodžio 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.applecoredesigns.co.uk/bim/>

Aranda-Mena, G.; Crawford, J.; Chevez, A.; Froese, Th. 2009. Building information modelling demystified: does it make business sense to adopt BIM?, *International Journal of Managing Projects in Business* 2(3): 419–434. <http://dx.doi.org/10.1108/17538370910971063>

Arayici, A.; Coates, P.; Koskela, L.; Kagioglou, M.; Usher, C.; O'Reilly, K. 2011. Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice, *Automation in Construction*, 20: 189–195. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.016>

Ashcraft, H., Shelden, R. D. 2015. BIM Implementation Strategies, Hanson Bridgett, Gehry Technologies [interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. kovo 10 d.]. Prieiga per internetą: http://www.nibs.org/?page=bsa_proceedings

Azhar, S., 2011. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry, *Leadership and Management in Engineering*, 11(3): 241–252. [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)lm.1943-5630.0000127](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)lm.1943-5630.0000127)

Azhar, S.; Carlton, W.A.; Olsen, D.; Ahmed, I. 2011. Building information modelling for sustainable design and LEED rating analysis, *Automation in Construction*, 20(2): 217–224. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.019>

Azhar, S.; Hein M.; Sketo B. 2010. Building Information Modeling (BIM): Benefits, Risks and Challenges, *Proceedings of the 44th ASC National Conference* [interaktyvus] [žiūrėta 2014 m. lapkričio 28 d.]. Prieiga per internetą: http://tallerifc.es/downloads_files/Estudio_BIM_Alabama.pdf

Azhar, S.; Sattineni, A.; Hein, M. 2010. BIM Undergraduate capstone thesis: Student perceptions and lessons learned [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. gegužės 14 d.]. Prieiga per internetą: <http://ascpro.ascweb.org/chair/paper/CEUE200002010.pdf>

Bagdonavičius J.; Stankevičius P.; Lukoševičius L. 1999. *Ekonomikos terminai ir sąvokos*. VPU leidykla, Vilnius, 180 p.

Barison, M. B.; Santos, E. T. 2010. BIM teaching strategies: An overview of the current approaches, *Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE 2010)*, Nottingham, United Kingdom, p. 577.

BIM taikymas [interaktyvus] [žiūrėta 2014 m. lapkričio 28 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.darombim.lt/bim-taikymas/>

Blackwell, W. 2014. Code of Practice for Project Management for Construction and Development. Fifth Edition. Registered Office John Wiley & Sons, Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom, p. 360.

Camps H.L. 2008. BIM, Education and the Global Economy, *Journal of Building Information Modeling* 2: 33–37.

Cao, D.; Wang, G.; Li, H.; Skitmore, M., Huang, T., Zhang, W. 2015. Practices and effectiveness of building information modelling in construction projects in China, *Automation in Construction*, 49: 113–122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.014>

Chau K. W.; Anson M.; Zhang J. P. 2005. 4D dynamic construction management and visualization software: 1. Development, *Automation in Construction* 14 (4): 512–524. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2004.11.002>

Chi, H.-L.; Wang, X.; Jiao, Y. 2014. BIM-Enabled Structural Design: Impacts and Future Developments in Structural Modelling, Analysis and Optimisation Processes, *Archives of Computational Methods in Engineering*, 22(1):135–151. <http://dx.doi.org/10.1007/s11831-014-9127-7>

CIFE (Center for Integrated Facility Engineering) 2007. CIFE technical reports [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. gegužės 14 d.]. Prieiga per internetą: <http://cife.stanford.edu/Publications/index.html>

Collier A.; Fischer M. 1995. Four-Dimensional Modeling in Design and Construction, *CIFE technical Report*. Center for Integrated Facility Engineering, Stanford [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. gegužės 14 d.]. Prieiga per internetą: <http://cife.stanford.edu/sites/default/files/TR101.pdf>

Contasfor; Egan, J. Sir, Williams, D. 1998. Rethinking Construction – the report of the Construction Task Force. Ice briefing sheet. *Proceedings of the ICE – Municipal Engineer*, 127(4): 199–203. <http://dx.doi.org/10.1680/imuen.1998.31312>

Council on Tall Buildings and Urban Habitat. 2013. 100 tallest completed buildings in the world [interaktyvus] [žiūrėta 2012 m. sausio 2 d.]. Prieiga per internetą: http://buildingdb.ctbuh.org/?list_type=1.

CRC for Construction Innovation 2007. *Adopting BIM for Facilities Management: Solutions for Managing the Sydney Opera House* [interaktyvus] [žiūrėta 2014 m. lapkričio 28 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.sbenrc.com.au/wp-content/uploads/2013/10/11-AdoptingBIMforFacilitiesManagement-solutionsforManagingtheSydneyOperaHouse.pdf>

Dawood, N.; Sikka, S. 2008. Measuring the effectiveness of 4D planning as a valuable communication tool, *Journal of Information Technology in Construcion* 13(1): 620–636.

Dean, R., 2007. *Building Information Modeling (BIM): Should Auburn University Teach BIM to Building Science Students*, Graduate Capstone, Department of Building Science, Auburn University.

Döner, F., Thompson, R.J., Stoter, J.E., Lemmen, C.H.J., Ploeger, H.D., Oosterom, P.J.M., Zlatanova, S. 2010. 4D cadastres: First analysis of legal, organizational, and technical impact—With a case study on utility networks. *Land Use Policy*, 27(4): 1068–1081. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2010.02.003>.

Eastman, C.; Sacks, R. 2008. Relative productivity in the AEC industries in the United States for on-site and off-site activities, *Journal of Construction Engineering and Management* 134(7): 517–526. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-364\(2008\)134:7\(517\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-364(2008)134:7(517))

Eastman, C.; Teicholz, P.; Sacks, R.; Liston, K. 2009. BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. 2nd ed. New Jersey: John Wiley and Sons Inc. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470261309>

Elmualim, A. A. 2009. Culture and Leadership in Stakeholder Management, *Construction Stakeholder Management* (eds E. Chinyio and P. Olomolaiye), Wiley-Blackwell, Oxford, UK. <http://dx.doi.org/10.1002/9781444315349.ch11>

Elmualim, A.; Gilder, J. 2014. BIM: innovation in design management, influence and challenges of implementation. *Architectural Engineering and Design Management* 10(3–4): 183–199. <http://dx.doi.org/10.1080/17452007.2013.821399>

Elvin, G. 2007. Integrated practice in architecture: mastering design-build, fast-track, and building information modeling. John Wiley & Sons, Hoboken, N.J. 272 p. ISBN: 978-0-471-99849-5

Europos Parlamento ir Tarybos Direktyva 2014/24/ES. 2014 [interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. gruodžio 30 d.]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=celex%3A32014L0024>

Fischer, M., Kunz, J. 2004. The Scope and Role of Information Technology in Construction, [interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. sausio 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://cife.stanford.edu/online.publications/TR156.pdf>

Frakes, W.B. 2005. Software reuse research: status and future, *IEEE Transactions on Software Engineering*. 31 (7): 529–536. <http://dx.doi.org/10.1109/TSE.2005.85>

Giel, B., Issa, R. 2013. Return on Investment Analysis of Using Building Information Modeling in Construction, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(5): 511–521. [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000164](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000164)

Giel, B.K., Issa, R., Olbina, S. 2010. Return on investment analysis for building information modeling in construction. Proceedings International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE 2010), Nottingham, UK, p. 153–158.

Hattab, M.; Hamzeh, F. 2015. Using social network theory and simulation to compare traditional versus BIM-lean practice for design error management, *Automation in Construction*, 52: 59–69. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.014>

Howard, R.; Bjork, BC. 2008. Building information modeling, expert's views on standardization and industry deployment, *Advanced Engineering Informatics* 22(2): 271–280. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2007.03.001>

Howell, I.; Batcheler, B. 2005. Building information modeling two years later – huge potential, some success and several limitations [interaktyvus]. The Laiserin Letter: No. 24. [žiūrėta 2014 m. spalio 28 d.]. Prieiga per internetą: http://www.laiserin.com/features/bim/newforma_bim.pdf

Hu, Z.; Zhang, J. 2011. BIM – and 4D – based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 2. Development and site trials, *Automation in Construction* 20(2): 167–180. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.014>

Hwang, C. L.; Yoon K. 1981. Multiple attribute decision making – methods and applications. A State of the Art Survey. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 250 p.

Irizarry J.; Gheisari M.; Zolfagharian S.; Meadati P. 2013. Human Computer Interaction Modes for Construction Education Applications: Experimenting with Small Format Interactive Displays, *International Journal of Construction Education and Research* 9(2): 83–101. <http://dx.doi.org/10.1080/15578771.2012.720356>

Joannides, M.M.; Olbina, S.; Issa, R.A. 2012. Implementation of Building Information Modeling into Accredited Programs in Architecture and Construction Education, *International Journal of Construction Education and Research* 8(2): 83–100. <http://dx.doi.org/10.1080/15578771.2011.632809>

Johansson, M.; Roupé, M.; Bosch-Sijtsema, P. 2015. Real-time visualization of building information models (BIM), *Automation in Construction*, 54: 69–82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.018>

Jongeling R.; Olofsson T.; 2007. A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD, *Automation in Construction* 16(2): 189–198. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2006.04.001>

Kang, T. W., Woo, J. Y. 2015. The development direction for a VDC support system based on BIM, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(6): 1573–1584. <http://dx.doi.org/10.1007/s12205-015-0677-5>

Khosrowshahi, F.; Arayici, Y. 2012. Roadmap for implementation of BIM in the UK construction industry, *Engineering, Construction and Architectural Management* 19(6): 610–635. <http://dx.doi.org/10.1108/09699981211277531>

Koskela, L. 1999. Management of production in construction: a theoretical view. In: *Proceeding for the 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Berkeley, CA, p. 241–252.

Kovacic, K.; Oberwinter, L.; Müller, Ch.; Achammer, Ch. 2013. The “BIM-sustain“ experiment – simulation of BIM – supported multi-disciplinary design, *Visualization in Engineering*, 1(1): 13. <http://dx.doi.org/10.1186/2213-7459-1-13>

Ku, K.; Taiebat, M. 2011. BIM Experiences and Expectations: The Constructors' Perspective, *International Journal of Construction Education and Research* 7(3): 175–197. <http://dx.doi.org/10.1080/15578771.2010.544155>

Kuehmeier, J.C. 2008. Building information modeling and its impact on design and construction firms. A thesis presented to the graduate school of the University of Florida in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of Science in Building Construction. University of Florida [interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. kovo 10 d.]. Prieiga per internetą: http://etd.fcla.edu/UF/UFE0022211/kuehmeier_j.pdf

Kymmell, W. 2008. Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations. McGraw-Hill Construction Series, Set 2, 1st Edition, 270 p.

Li, H.; Lu, WS.; Huang, T. 2009. Rethinking project management and exploring virtual design and construction as a potential solution, *Construction Management and Economics* 27(4): 363–371. <http://dx.doi.org/10.1080/01446190902838217>

Liaudanskienė, R.; Simanavičienė, R.; Ustinovičius, L. 2012. A Model for Solving Structural, Technological and Safety Problems, *Journal of Civil Engineering and Management* 18(1): 30–42. <http://dx.doi.org/10.3846/13923730.2011.643551>

Lietuvos Respublikos Statybos įstatymas 1996 // *Valstybės žinios*. 1996, Nr. 32–788.

Lietuvos statistikos departamentas [interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. rugsėjo 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.stat.gov.lt/>

Lindhard, S.; Wandahl S. 2012. Improving the making ready process – exploring the preconditions to work tasks in construction. In: Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, San Diego, CA, p. 451–460

Lu, W.; Fung, A.; Peng, Y.; Liang, C.; Rowlinson, S. 2014. Cost-benefit analysis of Building Information Modeling implementation in building projects through demystification of time-effort distribution curves, *Building and Environment*, 82: 317–327. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.08.030>

Lu, WS.; Peng, Y.; Shen Q.; Li, H. 2013. A generic model for measuring benefits of BIM as a learning tool in construction works, *Journal of Construction Engineering and Management* 139(2): 195–203. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000585](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000585)

Maa Z.; Shen Q.; Zhang J. 2005. Application of 4D for dynamic site layout and management of construction projects, *Automation in Construction* 14(3): 369–381. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2004.08.011>

MacCrimmon, K. R. 1968. Decision making among multiple-attribute alternatives: A Survey and Consolidated Approach. RAND Memorandum, RM-4823-ARPA.

MacLeamy, P. 2004. Collaboration, integrated information and the project lifecycle in building design, construction and operation [interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. sausio 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://codebim.com/wp-content/uploads/2013/06/CurtCollaboration.pdf>

Mahalingam A.; Kashyap R.; Mahajan C. 2010. An evaluation of the applicability of 4D CAD on construction projects, *Automation in Construction* 19(2): 148–159. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.015>

Matthews, J.; Love, P.; Heinemann, S.; Chandl, R. 2015. Real time progress management: Re-engineering processes for cloud-based BIM in construction, *Automation in Construction*, 58: 38–47. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.004>

McGraw-Hill-Construction 2008. *The Business Value of BIM for Construction in Global Market*, McGraw Hill Construction, Bedford MA, United States [interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. rugsėjo 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aia077483.pdf>

McGraw-Hill-Construction 2009. *The Business Value of BIM – Getting Building Information Modeling to the Bottom Line*, Bedford MA, United States [interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. rugsėjo 15 d.]. Prieiga per internetą: http://fiatech.org/images/stories/research/2009_BIM_SmartMarket_Report.pdf

McGraw-Hill-Construction 2010. *The Business Value of BIM for Construction in Global Market*, McGraw Hill Construction, Bedford MA, United States [interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. rugsėjo 15 d.]. Prieiga per internetą: http://images.autodesk.com/adsk/files/business_value_of_bim_in_europe_smr_final.pdf

McGraw-Hill-Construction 2014. *The Business Value of BIM for Construction in Global Markets*, McGraw Hill Construction, Bedford MA, United States [interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. rugsėjo 15 d.]. Prieiga per internetą: <https://synchro ltd.com/newsletters/Business%20Value%20Of%20BIM%20In%20Global%20Markets%202014.pdf>

Messner J.; Anumba C.; Dubler C.; Goodman S.; Kasprzak C.; Kreider R.; Leicht R.; Saluja C.; Zikic N. 2011. Computer Integrated Construction Research Program. BIM Project Execution Planning Guide – Version 2.1 [interaktyvus] [žiūrėta 2014 m. spalio 28 d.]. Prieiga per internetą: <http://bim.psu.edu/>

Migilinskas, D. 2012. BIM technologijų taikymas virtualiam statybos projekto vystymui 5D projektavimo aplinkoje. Lietuvos statybų praktika ir problemos, taikant skaitmeninius modelius. Konferencija Skaitmeninė statyba Lietuvoje. Pradžia'2012

Migilinskas, D.; Ustinovičius, L. 2006. Computer-aided modelling, evaluation and management of construction projects according to PLM concept, *Lecture Notes in Computer Science* 4101: 242–250. http://dx.doi.org/10.1007/11863649_30

Migilinskas, D.; Ustinovičius, L. 2008. Methodology of risk and uncertainty management in construction's technological and economical problems, in The 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC-2008: Selected papers, Ed. by E. Zavadskas, A. Kaklauskas, M. J. Skibniewski, June 26–29, 2008, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, p. 789–795. <http://dx.doi.org/10.3846/isarc.20080626.789>

Morlhon, R.; Pellerin, R.; Bourgault, M. 2014. Building Information Modeling Implementation through Maturity Evaluation and Critical Success Factors Management, *Procedia Technology*, 16: 1126–1134. <http://dx.doi.org/10.1016/j.protcy.2014.10.127>

Podvezko, V. 2011. The Comparative Analysis of MCDA Methods SAW and COPRAS, *Engineering Economics* 22(2):134–146

Poirier, E.A.; Staub-French, S.; Forgues, D. 2015. Measuring the impact of BIM on labor productivity in a small specialty, *Automation in Construction*, 58: 74–84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.002>

Popov, V.; Juocevičius, V.; Migilinskas, D.; Ustinovičius, L.; Mikalauskas, S. 2010. The use of virtual building design and construction model for developing an effective Project concept in 5D environment, *Automation in Construction* 19(3): 357–367. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2009.12.005>

Porwal, A.; Hewage, K. N. 2013. Building Information Modeling (BIM) partnering framework for public construction projects, *Automation in Construction*, 31: 204–214. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.004>

Return on Investment with Autodesk Revit 2004. Autodesk Building Solutions White Paper [interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. balandžio 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://usa.autodesk.com/revit/white-papers/>

Russell A.; Staub-French S.; Tran N.; Wong W. 2009. Visualizing high-rise building construction strategies using linear scheduling and 4D CAD, *Automation in Construction* 18(2): 219–236. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2008.08.001>

Sacks, R.; Barak, R. 2010. Teaching building information modeling as an integral part of freshman year civil engineering education, *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice* 136(1): 30–38. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000003](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000003)

Sampaio, A. Z.; Ferreira, M. M.; Rosa'rio, D. P.; Martins, O. P. 2010. 3D and VR models in civil engineering education: Construction, rehabilitation and maintenance, *Automation in Construction* 19(7): 819–828. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2010.05.006>

Schinnerer, V.O. 2007. The American Institute of Architects. Preparing for Building Information Modeling [interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. kovo 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.aia.org/practicing/groups/kc/AIAS077631>

Scholtenhuis, L.; Hartmann, T.; Dorée, A.G. 2016. 4D CAD Based Method for Supporting Coordination of Urban Subsurface, *Automation in Construction*, 62: 66–77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.10.013>

Sen, S. 2012. *The Impact of BIM/VDC on ROI: Developing a Financial Model for Savings and ROI Calculation of Construction Projects*, Master of Science Thesis, Real Estate and Construction Management, KTH Architecture and the built Environment, Stockholm. 58 p.

Shen, W.; Shen, Q.; Sun, Q. 2012. Building information modeling-based user activity simulation and evaluation method for improving designer-user communications, *Automation in Construction*, 21: 148–160. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2011.05.022>

Smith D. K. 2007. An Introduction to Building Information Modeling (BIM), *Journal of Building Information Modeling* 1:12–14[interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. gegužės 14 d.]. Prieiga per internetą: https://www.wbdg.org/pdfs/jbim_fall07.pdf

Smith, P. 2014. BIM implementation – global strategies, *Procedia Engineering* 85(2014): 482–492. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.575>

Son, H.; Lee, S.; Kim, Ch. 2015. What drives the adoption of building information modeling in design organizations? An empirical investigation of the antecedents

affecting architects' behavioral intentions, *Automation in Construction*. 49: 92–99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.012>

Stoškus S.; Petukienė E. 2008. Laiko valdymo efektyvumas: teorinis ir praktinis aspektai, *Ekonomika ir vadyba: aktualijos ir perspektyvos* 3(12): 319–328.

STR 1.01.06:2013. Ypatingi statiniai

STR 1.01.08:2002. Statinio statybos rūšys

STR 1.05.06:2010. Statinio projektavimas

STR 1.07.01:2010. Statybą leidžiantys dokumentai

STR 2.02.01:2004. Gyvenamieji pastatai

STR 2.02.02:2004. Visuomeninės paskirties statiniai

STR 2.02.09:2005. Vienbučiai ir dvibučiai gyvenamieji pastatai

Succar, B. 2009. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders, *Automation in Construction* 18 (3): 357–375. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>

SUCIFE 2007, GSA, BIM guide for spatial program validation. Stanford University Centre for Integrated Facility Engineering.

Tantisevi K.; Akinci B. 2006. Automated generation of workspace requirements of mobile crane operations to support conflict detection, *Automation in Construction* 16(3): 262–276. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2006.05.007>

Teicholz, P.; Goodrum, P; Haas, C. 2001. U.S. construction labor productivity trends, 1970–1998, *Journal Construction Engineering Management* 127(5): 427–429.

Thompson, D. B. 2001. E-Construction: Don't Get Soaked by the Next Wave, *The Construction Law Briefing Paper* [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. gegužės 14 d.]. Prieiga per internetą: http://www.fwhtlaw.com/articles/e-construction_dont_get_soaked.cfm

Thompson, D.B.; Miner, R.G. 2007. Building Information Modeling – BIM: Contractual Risks are Changing with Technology, *The Construction Law Briefing Paper* [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. gegužės 14 d.]. Prieiga per internetą: http://www.fwhtlaw.com/articles/building_information_modeling.cfm.

Tserng, H.P.; Ho, S.-P.; Jan, S.-H. 2014. Developing BIM-assisted as built schedule management system for general contractors, *Journal of Civil Engineering and Management*, 20(1): 47–58. <http://dx.doi.org/10.3846/13923730.2013.851112>

Tulenheimo, R. 2015. Challenges of Implementing New Technologies in the World of BIM – Case Study from Construction Engineering Industry in Finland, *Procedia Economics and Finance*, 21: 469–477. [http://dx.doi.org/10.1016/s2212-5671\(15\)00201-4](http://dx.doi.org/10.1016/s2212-5671(15)00201-4)

Turkan Y.; Bosche F.; Haas C.T.; Haas R. 2011. Automated progress tracking using 4D schedule and 3D sensing technologies, *Automation in Construction* 22: 414–421. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2011.10.003>

Turskis, Z.; Zavadskas, E.K.; Peldschus, F. 2009. Multi-criteria Optimization System for Decision Making in Construction Design and Management, *Engineering Economics* 1(61): 7–17.

Tüzün, E.; Tekinerdogan, B. 2015. Analyzing impact of experience curve on ROI in the software product line adoption process, *Information and Software Technology*. 59: 136–148. <http://dx.doi.org/10.1016/j.infsof.2014.09.008>

Ustinovičius, L.; Zavadskas, E. K. 2004. Statybos investicijų efektyvumo sistemotechninis įvertinimas [Assessment of investment profitability in construction from technological perspectives]. Vilnius: Technika. 220 p. ISBN 9986-05-806-6.

Wang H.J.; Zhang J.P.; Chau K.W.; Anson M. 2004. 4D dynamic management for construction planning and resource utilization, *Automation in Construction*. 13(5): 575–589. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2004.04.003>

Wang, X.; Jung, P.; Luo, H.; Truijens, M. 2014. An innovative method for project control in LNG project through 5D CAD: A case study, *Automation in Construction*. 45: 126–135. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.011>

Wetzel, E.M.; Thabet, W.Y., 2015. The use of a BIM-based framework to support safe facility management processes, *Automation in Construction*, 60: 12–24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.004>

Wong, J.; Zhou, J. 2015. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review, *Automation in Construction*, 57: 156–165. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003>

Wong, K.; Fan, Q. 2012. Building information modelling (BIM) for sustainable building design, *Facilities* 31 (3/4): 138–157. <http://dx.doi.org/10.1108/02632771311299412>

Woo, J. H. 2006. BIM (Building Information Modeling) and Pedagogical Challenges, *Proceedings of the 43rd ASC National Annual Conference*, April, Flagstaff, AZ., p. 12–14.

Xu, W., Zhu, Q., Du, Z., Zhang, Y. 2010. Design and Implementation of 3D Model Database for General-Purpose 3D GIS, *GEO Spatial Information Science* 13(3), p. 210–215. <http://dx.doi.org/10.1007/s11806-010-0309-7>

Yan, H., Damian, P. 2008. Benefits and Barriers of Building Information Modelling, 12th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Beijing 2008.

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A. 1996. Pastatų sistemotechninis įvertinimas. Vilnius: Technika, 280 p.

Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Reizgevičius, M.; Ustinovičius, L.; Simanavičienė, R.; Rasiulis, R.; Pelikša, M. 2014. The evaluation and justification of the effectiveness of 4D CAD using multi-criteria analysis, *Journal of Civil Engineering and Management* 20(6):884–892. Thomson Reuters Web of Knowledge (*ISI Web of Science*), IF₂₀₁₄=1,070. <http://dx.doi.org/10.3846/13923730.2014.978362>

Reizgevičius, M.; Reizgevičiūtė, L.; Ustinovičius, L. 2015. The need of BIM technologies implementation to design companies, *Economics and Management* 7(4):45–53. Journal indexed in Index Copernicus (ICV 7,17), ERIH PLUS, Google Scholar, BazTech and BazEkon. ISSN(online)2300-0813. <http://dx.doi.org/10.12846/j.em.2015.04.06>

Reizgevičius, M.; Reizgevičiūtė, L.; Pelikša, M. 2013a. Pastato informacinio modelio (BIM) panaudojimas statybos inžinerijos studijose, *Jaunųjų mokslininkų darbai* 2(40): 154–160. ISSN 1648-8776 (Index Copernicus ir CEEOL).

Reizgevičiūtė, L.; Reizgevičius, M.; Ustinovičius, L.; Pelikša, M. 2013. BIM technologijų įtaka darbo efektyvumui, *Vadyba* 1(22): 143–149. ISSN 1648-7974. (Leidiny s yra įtrauktas į mokslinę elektroninę biblioteką eLIBRARY.LT bei Lietuvos

mokslinių periodinių leidinių sąrašą, EBSCO, Index Copernicus, CEEOL tarptautines duomenų bazes).

Reizgevičius, M.; Reizgevičienė, R. 2012. Keturių dimensijų modelio efektyvumo vertinimo teorinis aspektas, *Jaunųjų mokslininkų darbai* 1(34): 202–207. ISSN 1648-8776 (Index Copernicus ir CEEOL).

Straipsniai kituose leidiniuose

Ustinovičius, L.; Rasiulis, R.; Nazarko, L.; Vilutienė, T.; Reizgevičius, M. 2015. Innovative Research Projects in the Field of Building Lifecycle Management, *Procedia Engineering* 122: 166–171. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.021>

Reizgevičius, M.; Ustinovičius, Rasiulis, R. 2013b. Efficiency Evaluation of 4D CAD Model, 11th international conference on modern building materials, structures and techniques (*MBMST*), May 16–17, 2013, Vilnius, Lithuania, *Procedia Engineering* 57: 945–955. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.120>.

Reizgevičiūtė, L.; Reizgevičius, M. 2014. Projektavimo paslaugų efektyvumo didinimas įvedant BIM, *Jaunųjų mokslininkų konferencijos pranešimų medžiaga*, KTU Statyba ir architektūra, Kaunas, p. 89–96. ISSN 2345-095

Summary in English

Introduction

Formulation of the problem

Building Information Modelling (BIM – Building Information Modelling) undoubtedly is one of the most advanced technologies used in the construction industry, which benefits are proven by scientific researches. Despite BIM effectiveness justifying researches, advantages and benefits brought by BIM to individual participants in the construction sector are still unclear. Analysis about scientific researches and practical BIM use in different countries leads to the conclusion that still there are neither criteria evaluating BIM performance evaluation nor unified BIM assessment methodology. In many cases, the efficiency of BIM is evaluated by analysing statistics of mistakes and building-term. Results' of scientific researches variation is quite wide and difference of BIM appliance efficiency is still not assessed according to the building's purpose, size, complexity, and other characteristics.

The problem of the dissertation research has been formulated in question, how efficiency of BIM technology should be assessed, whether efficiency may be measured in the same way for different BIM process participants, who or what has an impact on BIM technologies implementation to design company, and how return on investment of BIM should be calculated.

The multi-stage assessment of BIM technologies efficiency, consisting of sets of indicators, is proposed for solving dissertation problem. The model applied for BIM

technology development in the construction market, may also be practically applied to the company's development planning stage.

Solving dissertation problem and practical application of the results obtained might have a positive impact on the technological development of Lithuanian construction sector by accomplishing the implementation of BIM in Lithuania.

The proposed multi-stage assessment of BIM technologies efficiency model versatility during the environmental conditions and modelling assumptions change can be adjusted and applied for assessment of changing environmental conditions.

Relevance of the thesis

The construction sector is one of the most significant sectors, which influences the growth of country's economic. The sector has significant influence on the creation of high added value and work places. This sector generates the major part of material investments and accounts about half of the energy demand. The construction sector significance is supported by the building services procurement dominance in the procurement volumes. This sector is significant not only because of the added value, but also the construction sector employment relationship and impact on other sectors, such as transport, energetics, textile, and information and communication technologies employment.

Considering relatively small part of the EU countries economical development level and relatively low productivity in the construction sector, the growing cost of material resources and increase in human capital deficit, it is appropriate to look for a way to increase the construction industry efficiency.

BIM application is one of the construction sector progress factors in the world's rapid development in construction information and communication technologies. BIM use is actively promoted by individual countries (Denmark, USA, Australia and so on) and overall EU policies implementation. In countries where the construction sector development is not fast enough or characterized by lower productivity, it is appropriate to respond to the construction information and communication technology changes, to develop and implement BIM. However, united BIM application system in different countries is not developed and applied for its lack of information about use efficiency for different construction sector participants. In the case of BIM implementation investments to BIM technologies given visible efficiency occurs at different stages of the building life cycle. Also provided BIM efficiency would vary depending on the purpose of the building, complexity and other parameters. Significant impact on the united BIM system implementation would bring clarification and details about BIM implementation effectiveness for different participants in the construction sector. Also it might become a valid argument not to install the system, looking for other efficiency increase alternatives.

The object of the research

Influencing factors of the multi-stage assessment of BIM technologies efficiency and the significance analysis of the construction process of participants activities.

The aim of the thesis

To create the multi-stage assessment of BIM technologies efficiency model and the algorithm of its practical application, to create and verify ROI of BIM calculation model (ROI – Return on Investment).

The objectives of the thesis

The objectives of the thesis:

1. To examine BIM technology strengths, weaknesses and impact on work efficiency in the published literature.
2. To perform 4D and 2D design experimental comparative tests determining effectiveness.
3. To perform the analysis of BIM use in construction engineering studies and determine the level of preparedness.
4. To perform the research about construction productivity evaluating 100 highest skyscrapers and identify the influence of the variables by regression analysis method.
5. To create the multi-stage assessment model of BIM technologies efficiency.
6. To create the return on investment (ROI) of BIM technologies calculation method for design companies. To adapt existing and to propose new variables for proper ROI calculation to newly created “*ROI MR*” method.
7. To check newly created “*ROI MR*” method payback calculation methodology by determining ROI of BIM technologies for the design company. To compare calculation results with the results in the research literature reports.

The research methodology

During preparation of the thesis foreign and Lithuanian scientific publications, researches, construction company data, laws, regulating construction and design, building regulations, construction law, BIM standards have been analyzed. An experimental evaluation has been performed, also questionnaires, regression analysis, data organization, graphical data representation have been carried out. The decision-making method and multiple criteria analysis for assessing the effectiveness of 4D have been used. Also for doctoral thesis preparation informative publications of a variety of institutions in the construction industry, Lithuanian and foreign institutions statistical reports have been used. Technical informatikon of BIM program producers, the various reports, return of investment calculation methodology have been examined.

Scientific novelty of the thesis

The new results of the dissertation have been found to the science of construction engineering:

1. Invented return on investment of BIM implementation calculation method, which allows to verify the payback of BIM programs of any size design company in Lithuania and abroad.

2. Created 2D and 4D efficiency estimation experimental methodology which allows to evaluate the working speed, prevention of mistakes, drawings perception, mistakes arising during construction, repairs.
3. Developed multi-stage assessment of BIM technologies efficiency model. Each participant's role and level of implementation of BIM technology to design company have been set.

Practical value of the research findings

The results may be useful for companies making micro-level decisions related to BIM technology implementation and application for company's activities. Results of the thesis research used in macro level can be useful for united BIM system formation and implementation, also for digitizing the construction sector in the individual country level. The results of the research may have a significant influence on both the micro-level and macro-level decisions related to the introduction of innovations in the construction sector, which will directly and indirectly affect both the other economy sectors, and technology, social and humanitarian fields development.

Defended statements

1. The developed multi-stage assessment of BIM technologies efficiency model allows to assess each participant's role and level of implementation of BIM technology to design company.
2. The integration of building information model to the design sector companies creates new challenges, barriers. BIM integration for companies could bring not only profit, but also new problems. Implementation of BIM technologies to small design companies in Lithuania is an expensive and complicated process, and return on investment time is long.
3. Proposed ROI of BIM calculation method “*ROI MR*” allows to practically check design companies return on investment of BIM programming of any size design company in Lithuania and abroad.

The approval of the research findings

8 scientific articles have been publicised on the topic of the thesis: one in scientific journal included into *Thomson Reuters ISI Web of Knowledge (ISI Web of Science)* (Reizgevičius *et al.* 2014); two in *ISI Proceedings* – (Reizgevičius *et al.* 2013; Ustinovičius *et al.* 2015); four in other reviewed international and Lithuanian peer-reviewed periodical publications (Reizgevičius *et al.* 2015; Reizgevičius *et al.* 2013; Reizgevičiūtė *et al.* 2013; Reizgevičius *et al.* 2012), and one in other Lithuanian peer-reviewed conference paper (Reizgevičiūtė *et al.* 2014).

Findings of the thesis have been presented at 7 scientific conferences (four international, three Lithuanian Young Scientists):

- VGTU 11th international conference “*Modern building materials, structures and techniques*” in Vilnius, 2013;

- 15th German-Lithuanian-Polish colloquium “Innovative solutions in Construction Engineering and Management” in Poznan, Poland, 2015;
- 7th International conference “Studies of Young scientists” in Šiauliai, 2012;
- 8th International conference “Studies of Young scientists” in Šiauliai, 2013;
- Student Scientific Conference “Construction and Architecture” in Kaunas, 2014;
- 9th Scientific conference “Studies of Young scientists” in Šiauliai, 2014;
- 10th Scientific conference “Studies of Young scientists” in Šiauliai, 2015.

4D design performance evaluation experiment was performed in 2012. During the experiment construction process it was simulated by giving project information in 2D and 4D formats. In 2012 participated in the internship of the Erasmus program in Denmark – VIA University College. During the internship lectures on the topic of the thesis were delivered: “BIM, 4D and 5D CAD”. In 2015 participated in the internship in Poland – The Bialystok University of Technology.

The structure of the dissertation

The thesis consists of an introduction, three chapters, conclusions, list of literature and resources, scientific publications of the author on the topic of the dissertation, abstract in English and the annexes.

The scope of the thesis with the summary in English is 160 pages with the exception of annexes, the text contains 24 numbered equations, 40 illustrations and 25 tables. 118 references have been used writing the dissertation.

1. BIM value for the construction sector

The first chapter of the dissertation focuses on BIM value for the construction sector. The analysis of foreign literature and research is being executed. BIM (Building Information Modeling) design is often analyzed area in construction engineering and management scientific publications. The designing process is different, drawing is executed without lines, with elements that have their own settings. Building information modeling consists not only of geometry. BIM connects various factors influencing building construction process and structure: light, geography, construction materials, quantities, etc. Thanks to BIM because it is possible to create a project in a virtual space. This helps to avoid mistakes, structural discrepancies. The first chapter discusses advantages and disadvantages of the building information modeling. After the evaluation of all criteria, the influence on job efficiency is discussed, how the benefits of BIM can speed up the work. Today's construction industry is very demanding, a specialist must be knowledgeable in all areas of construction, be able to work with complex multistage computer programs. BIM-disciplinary knowledge would significantly improve the quality of higher education. Studies would be comprehensive, linked individual disciplines would create a realistic image of the construction industry. BIM design knowledge would enable to integrate faster into today's highly demanding job market. After the assessment of BIM value for the construction sector, objectives of the thesis are formulated.

The first chapter summarizes BIM technology conception by foreign and Lithuanian scientists work. BIM technology is widely analyzed abroad, but in Lithuania it is a relatively new area. BIM started in Lithuania only in 2002, whereas in the world it has been used since 1987. “Graphisoft” company was first which started virtual construction. The company has introduced BIM method to the “ArchiCAD” graphical program. Foreign authors emphasize building information opportunities of model usage in the construction industry.

Although the advantages of BIM technology and rapid learning of new design applications need is perfectly visible, it is important to perform research about the usage of BIM in the construction engineering studies and determine the level of students preparation. It is also important to assess students' interest in BIM technologies, their preparation and development in non-formal level.

After foreign authors' literature review it has been revealed that BIM implementation process is poorly studied and there is no optimum proposed model. Creating the multi-stage assessment of BIM technologies efficiency model would be useful to assess each participant's role. Meanwhile, return on investment calculations do not clearly define the variables used. Without specific studies and practical knowledge it would be difficult to determine the return on investment of BIM program implementation.

Without proper return on investment of BIM variables assessment, it is impossible to compare the results with results of the research published in literature. Software manufacturers or foreign authors offered BIM technology return on investment calculations might be inaccurated or overly optimistic.

2. The assessment of BIM technologies efficiency using complex multistage decision making model

The second chapter presents the created multi-stage assessment of BIM technologies efficiency model. The chapter describes 4D conception and application in Lithuania and abroad, analyzes 4D efficiency theoretically. 4D efficiency experiment has been performed using decision support methods: SAW, COPRAS, TOPSIS. BIM maturity model has been analyzed. The author presents BIM implementation phase to design division into 4 stage (see Fig.S1.).

Stage 1. During the first stage construction/design company should evaluate the need of BIM and company's' capabilities. A responsible person in the company or the consultant should critically assess what BIM functions Company needs in order to achieve better results, what features or design methods (4D, 5D, 6D, etc.) are necessary for the company. As it is the first time that design or construction company is implementing new technology, BIM university could help to make important decision. In particularly BIM university are Lithuanian high education schools, which prepare construction and architecture professionals. They are the first to see and critically evaluate BIM process and its implementation options. The conception of BIM university could include construction association, partners who have already installed BIM. The most important condition, that representatives of BIM University would be knowledgeable and certainly not members of the same organization or company (eg., BIM software representatives who are interested to promote their product). BIM

university representatives would provide competent advice, answer the questions and provide assistance during all 4 stages for BIM programs implementing company's'. It is important to mention that BIM University representatives would offer for the company most suitable BIM implementation option in the primary process and would not necessarily suggest the installation. After the evaluation of company's economic indicators, BIM University members might offer to wait until the company's economic indicators improve or could propose cheaper BIM software alternative.

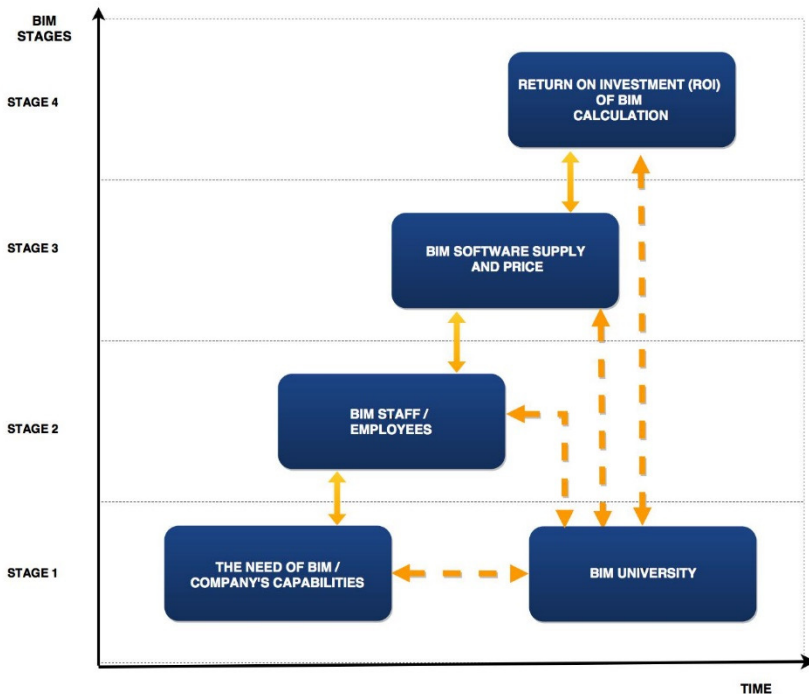


Fig. S1. BIM implementation levels / stages (created by the author)

Stage 2. During the second stage construction / design company should assess human resources. Successful BIM implementation heavily depends on staff directly working with BIM programs. Firstly company should assess its current staff. It is important to determine employees whose work is enterprise service basis. Secondly it is important to evaluate whether or not the company's employees are receptive to innovation, do they want to improve, are they satisfied with their provided services quality, do they often make mistakes, does the project need editing during the construction process. An important play in this stage gets BIM University. BIM implementing company could address to BIM University for existing staff training, new staff with the necessary skills search or BIM software evaluation.

Stage 3. The third stage would assess BIM software supply and price. Nowadays the market has very wide BIM programs offer. The market offers a variety of BIM

programs with different or similar features. The construction or design company which evaluates BIM implementation should survey BIM program suppliers who submit proposals reflecting the possibilities of the programs, discounts for the software packages when buying the whole package or just the individual program. During the third stage BIM University could also help. During the second and third BIM implementation stages it is very important to find out what BIM software use Lithuanian high schools for preparing young professionals in order to know whether there would be possibility to find new employee or change an existing one.

Stage 4. The fourth stage of BIM implementation is based on return on investment of BIM programs calculation. After collecting the necessary data, company's preparedness for BIM implementation should be evaluated. At this stage BIM University could recommend ROI calculation method or perform this calculation, which would be useful for BIM implementation design / construction company. Only after proper evaluation of ROI company could decide whether BIM implementation could bring desired benefits, of company should still wait until investment in innovation.

This chapter of the thesis presents evaluation of 4D CAD model efficiency using the multi criteria analysis.

Experiment of 4D CAD performance evaluation. Experiment proceeding consisted of 6 stages: 1) as construction object has been used "Lego" blocks model "Apple Tree House". There has been used a simplified model of a house, eliminating welfare elements; 2) design Software selection, 2D and 4D experiment task design. There has been selected "Autodesk Revit" 2011 design software, allowing for 2D and 4D drawings; 3) creation of 2D and 4D CAD "Apple tree house" model drawings; 4) the experiment with participants: seven groups have got 2D CAD drawings and other 7 groups entered the 4D group and got 4D CAD drawings; 5) the performance of the experiment; 6) the experiment evaluation.

The participants of 4D group of experiment have completed averagely 99.1 percent of the object. The lowest object completion among this group's participants' is 98.8 percent. The best result according to the analysis criteria among 4D group participants – 99.4 percent. Comparing experimental results of the two groups of participants identified that 4D group's participants have executed more construction extent in 48.6 percentages than 2D.

Comparing two groups of participants, it was noted that participants of 4D group construction process can reduce mistakes possibilities comparing with 2D group. 4D group had reconstructed 10.3 pieces, and 2D group reconstructed an average of 19.6 pieces. 4D groups reconstruction number is 90.3 percent less than the 2D groups. To summarize the experimental results it can be said that using 4D model it is possible to reduce the likelihood mistakes in construction process and help to detect and remove them faster.

Comparing the relationship between the amounts of work experience and model completion using 2D CAD and 4D CAD drawings, linear correlation method showed an existing statistical dependency. Analyzing 2D model experiment participants practical experience in construction sector and model completion relationship of linear correlation coefficient is 0.51, while for the 4D model participants it is 0.62 and confirms a direct connection.

The research has been performed and the need of BIM technologies in the studies of construction engineering has been evaluated. The results of the research have revealed that students using non-formal method do not acquire BIM projection knowledge and skills. The knowledge of BIM discipline would improve the quality of studies in high schools. The studies would be universal, related separate disciplines which would create a real view of the constructional industry.

Seeking to evaluate the influence of BIM technologies to the labour efficiency, 100 multistorey buildings (skyscrapers) have been chosen. An average building period of older buildings which were built before 1987 (when BIM technologies were started to use in the world) was 2.7 years when using BIM technologies the period seeks about 4.5 years. Also, unbelievable results have been found that buildings which were finished by 1990 and started not later than 1987, were built 82760 m² on the average when using new construction method of BIM technologies construction is slow and builds only 30000 m² per year and seeks only 52300 m². The speed of building during the last years lowered more than 36%. The performed regression analysis has revealed that determination rate is low in all examined cases and shows a weak dependence (the maximum determination rate – 0.2244, the least – 0.0352, which show reliable but a weak connection). Also, dependence among the numbers of the building floors, height (m), area (thousands metre square) and the time of the building (by years) have been analyzed.

3. The assessment of BIM technologies implementation to the design company

The need of BIM technologies implementation in the design company has been evaluated in this chapter. The growth of efficiency has been evaluated by design companies after starting to use BIM. Challenges of BIM projection, barriers, problems and methods of the decision have been discussed in the chapter. Also, 10 designers of designer companies who implemented BIM software have been questioned on purpose to evaluate properly the need of BIM implementation and projection companies which are influenced by factors.

The factors which have influence on companies for implementing BIM software have been determined. Seeking to evaluate properly the importance and necessity of BIM technologies implementation in the designer sector the underway activity of the designer company “N” has been examined. Also, the benefit of BIM technologies implementation in the designer companies, the growth of effectiveness after using BIM technologies have been analysed in the chapter. The researches of BIM projection payback, the methodology of ROI calculation have been discussed which are analyzing by authors of foreign countries. If you want to evaluate BIM payback properly, the practical ROI calculations are performing. The hypothesis has been raised if the methodology of calculation is relevant, if all necessary variables are evaluated counting investment payback.

In order to assess the need of BIM implementation correctly and identify factors which affect the design companies to invest in expensive technologies, there were interviewed 10 designers whose companies are using BIM.

According to the respondents the greatest influence of BIM software installation for their company had calculations of 3D construction. This factor unanimously got 10 scores from all respondents. It can be assumed that companies maintain a full complex project so it is convenient to use a single BIM program because constructions are calculated in the same model, which is created and holds information of all building information model in the central file. Therefore, information is always updated and there is no need to change formats, convert files.

There is no widespread method of BIM return on investments (ROI) calculation. Most of the users regard ROI as time, money and BIM deployment effort return. Calculated ROI rate is an estimated payback of BIM programs but is not a return on investments of specific project. Negative or equal ROI is noticeable in smaller organizations during the first year of primary BIM mastering stage, as it harder for them to absorb the initial costs because of the for the software price, training and business development using BIM. BIM implementation creates a challenge that can be met only if BIM technologies are profitable for the company and the profit potentially outweighs the implementation costs.

ROI of BIM could not be measured from design to construction completion or demolition. Often BIM design initiators are construction companies that are unwilling or unable to create their own design departments but focus BIM design weight on the designers. And meanwhile designer is looking for its offered services return on investment. Designer's work starts from the design task and commercial offer preparation and ends with a construction permit and project taking-over certificate. The construction contractor usually appears only when the construction permit is ready. The construction contractor as well as designer is often opted for the lowest price. Assessing ROI, the return curve can be significantly distorted. Taking the period of design to construction completion is one way to calculate the return. Also, the designer does not care for the end of construction works if it has no author supervision of the execution or technical supervision contract, so ROI should not be measured the same for design and construction companies. BIM design shall not be forced, everything has to be consistent and on a voluntary basis.

The author suggests different methodology of ROI calculation ("ROI MR"), evaluating more variables. The proposal of first year ROI verbal formula expression:

$$ROI \text{ MR (first year) } = \frac{(\text{Gain after Investment} - \text{Investment Cost})}{\text{Investment Cost}}.$$

In order to understand the return on investment correctly variables need to be examined.

ROI formula proposed for first year:

$$ROI \text{ MR} = \frac{((12 - C) \cdot (1 + E) \cdot (B \cdot F \cdot G) - (A + (B \cdot C \cdot D)))}{A + (B \cdot C \cdot D)}. \quad (S1)$$

The variables of equation no S1 are explained in table S2.

1. Increase after investment = (12 months – training time (months)) x productivity increases (times) x monthly labor costs (euro) x direct design work (times) x company works specificity (times).

2. Investment Price – software price + (training time (months)) x monthly labor costs (euro) x productivity lost during training (times).

To assess the benefits of BIM and to assess the return on investment is necessary to take into account the following factors: how the new system will save, or new programs to increase the company's share value or profitability, how much time it takes to train new users.

In order to evaluate the return on investment of BIM correctly designers of companies that installed BIM programs have been interviewed. The results are presented in Table S1.

Table S1. Results of the survey

Expected productivity lost started using BIM	34 %
Time needed to restore efficiency to the previous level	2,3 month
Maximum productivity gain after training	31 %
How long productivity growth can last to reach maximum level (growth)	4,8 month

Foreign authors ROI calculation methodology shows that there are a number of criteria, variables to be assessed in order to correctly calculate the return on investment. Submitted return on investment of BIM calculations show that not all relevant variables are evaluated. In addition, ROI rate of first year BIM exceeding 100 % are inadequate. The same numerical value of ROI indicators are not obtained after replicate calculations of the model, which raises the questions of whether the calculations are correct, are they in keeping with the reality, are there any hidden variables in the formula? As, the “manual” calculation is not given, the ROI calculator subtleties are impossible to clarify. In addition, it is necessary to consider the fact that every country has a different working conditions, wages and different possibilities for big and “micro” companies. The adjusted ROI calculation formula is submitted based on existing studies of BIM return on investment. Table S2. shows the description of the variables in the formula by “Autodesk Revit” (2004) and the newly proposed variable design for a design company of Lithuania.

The design company analysis is performed in order to assess the benefits of BIM. “Micro” design company operating for more than two years is assessed together with its architects, engineers, energy performance certification experts. The evaluation of various programs is aimed on finding a combination of programs or program that will suit both the architect and the engineer work. Research can also be useful for new or recently started companies.

Three design programs distributing companies have been interviewed. There are two alternatives on which BIM introduction for company is based: “Autodesk” and “Archicad”. In order to get more comprehensive results the alternative is introduced – “ZWCAD + Professional” program that does not have a BIM design possibility.

It is noted that the proposed duration of the training is relatively short – 24 to 40 academic hours (0,6–1 working week). In general thought this is believed to be marketing tool allowing the user to understand that the management of the program is easy enough to learn in such a short time. It is necessary to assess the size and number of

projects, the need of BIM for projects, computer settings in order to choose the right alternative for optimal work.

In order to assess the return on investment of BIM technologies for a design company the ROI calculations have been made. New variables and calculation model is offered by Author to assess the return on investment. “Autodesk Revit” ROI and author proposed “ROI MR” calculation models have been compared, the obtained results and variables are entered in the table for comparison. It is important to note that both models calculate the first year return on investment.

For the first comparison of “ROI MR” model the same measures are used by “Autodesk Revit” experts assessing new factor G (company specificity) in addition. The results are shown in Table S2.

Table S2. Comparison of “Autodesk Revit” and “ROI MR” calculations (author created)

Variable symbol	ROI “Autodesk Revit”	Numeric value	ROI “ROI MR”	Numeric value
A	Cost of software, €	4485.64 €	Cost of software ¹ , €	4485.64 €
B	Monthly labor cost, €	714 €	Monthly labor cost ² , €	714 €
C	Training time, months	2.3 months	Training time ³ , months	2.3 months
D	Productivity lost during training, %	34 %	Productivity lost during training, %	0.34
E	Productivity gain after training, %	0.31 %	Productivity gain after training ⁵ , times	0.31
NEW VARIABLES				
F	Used in Revit ROI calculations, but direct position was not found	82 %	Direct design work ⁶ , times	0.82
G	-	-	Company’s work specificity ⁷ , times	0.465
	First year ROI, %	32 %	First year ROI, %	31.4

¹ Optimal software of the program is chosen comparing their subscription programs costs.

² The average salary of 713.9 EUR set by data of September of 2015 of Lithuanian Department of Statistics (K2 – average gross of all positions of 2015).

³ 2 months of training is set by “Autodesk Revit” studies as minimum training period to acquire necessary skills. Although the program distributors offer shorter training terms of 0.6–1 week (this is only the introduction training term that is not enough to master the knowledge). Therefore, the training terms are submitted not as a training time but as the time required to achieve the same level of productivity as in the use of original software.

⁴ Designers of 10 companies with the installed BIM design programs have been questioned.

⁵ Designers of 10 companies with the installed BIM design programs have been questioned.

⁶ It is important to mention that this indicator of ROI calculations by “Autodesk Revit” in the present case does not describe specific work hours – time is required not only to carry out the design work but for printing, interest in the legislative framework, documentation preparation. According to ROI by “Autodesk Revit” 35% of time is spent to design, 46% for documentation (respectively 52 and 68 hours per month), and total of 82% of the time for general project work. As it is appropriate to evaluate this factor it is take the same for calculations.

⁷ The opportunity of the relevant “micro” company to use BIM programs for ongoing projects. 46.5% of ongoing projects needed BIM design. Company has its own business strategy to achieve the best results. Only the company itself is aware of the kind of projects they work on the most often and what type of projects need BIM. Common companies of Lithuanian are engaged in more than one activity, i.e. they design not only new buildings, but also to carry out projects for reconstruction, repair and detailed plans. Some projects BIM design cannot be used and will not bring the expected benefits, and it must be assessed calculating the return on investment of the design program.

It is important to note that the calculation of return on investment in BIM design other indicators could be assessed: 1) Number of employees for one project; 2) Time consumption for the project; 3) The profitability of the project; 4) Turnover rates and etc. of the company.

ROI indicators’ calculation different ways considerable difference is noted. Return on investment calculation by “Autodesk Revit” shows the 32% of the first year costs return despite the 6 times lower than the price of the program salary fact. Logically the rate of return seems unlikely disregarding the two variables of F and G. Employee of an average salary of 714 euro per month working with BIM program would earn only 8568 euro per year and this amount is slightly above the design program cost. And if in addition estimating to working with the loss of 34% working with a new design program of the first 2 to 3 months, i. e. 0.34 times less work done, while the remaining 9 to 7 months 31% more done than before installing BIM, the results of return still would be inadequate. In other words the results are still too optimistic.

Estimated ROI ratio shows that the design program will have no return the first year. The resulting rate of return is negative. Substantial difference is between the required time and cost of carrying out the work. In this case the situation of the operating company of Lithuanian of present market situation is assessed. The average wage of the professionals working for the Lithuanian labor market is assessed and the price of the program offered in the local market is used for the calculations.

No categorical state can be made that there is no financial gain installing BIM. One of the most influential factors ROI is wages. Wages rise while leaving other variables of the set values will give the positive return values of the program.

Calculations are performed in an attempt to illustrate the employee's salary to be for the design program of 4.500 euro price return within 5 years (see Table S3.). In the model there is shown that the forced installation of BIM prices of design services will rise about 2 times (714 € → 1375 €), as the company will have to pay a higher salaries – thus higher earnings for the company will remain. For simple comparison it can be mentioned that the company X is currently performing for 1500 euro of individual house

project up to 200 m² (project parts: general, architectural, construction, site plan). The company would carry out the same project for 3000 euro using the forced installation of BIM and only in case when company X will choose one of the cheapest BIM design programs.

The performed calculation is made excluding new G factor avoiding the doubt of “ROI MR” calculations. These results are compared with obtained results of ROI by “Autodesk Revit”. B coefficient value is the average wage of the relevant market (the calculation results are presented in Table S4.).

Table S3. ROI of BIM in 5 years (author created)

Variable symbol	Numeric value		Numeric value	
A	4485.64 €		4485.64 €	
B	1375 €		1375 €	
C	2.3 months		2.3 months	
D	34%		0,34	
E	31%		0.31	
F	82%		0.82	
G	-		0.465	
	ROI “Autodesk Revit”	57 %	ROI “ROI MR”	20 %

Table S4. Comparison of “Autodesk Revit” and “ROI MR” calculations excluding factor G (author created)

Variable symbol	Numeric value		Numeric value	
A	4485.64 €		4485.64 €	
B	714 €		714 €	
C	2.3 months		2.3 months	
D	34%		0.34	
E	31%		0.31	
F	82%		0.82	
G	-		not evaluated	
	ROI “Autodesk Revit”	17 %	ROI “ROI MR”	-22 %

In conclusion, the first year return of BIM installation is unnoticeable assessing G variable at current market wages and BIM program installation prices in Lithuania. It is important to mention that the second year gives better results because the employees will not lose time for trainings, work will be more efficient.

Figure No. S2. shows the ROI (%) dependence on the wage gross (euros/month.). It is obvious that this linear relationship. Programs with the BIM design option are compared. It shows that less expensive I alternative program ROI is negative – 31.41%, while the more expensive III rd – 61.16% at the average wage, given by Lithuanian Department of Statistics data. Cheaper program one year ROI is possible at the 2 740 EUR/month wages, meanwhile, more expensive – at 5100 EUR/month.

It shows that the turning point (ROI = 0%) choosing I alternative is at 1104 EUR/month wage, meanwhile, turning point (ROI = 0%) of more expensive alternative is at 2055 EUR/month.

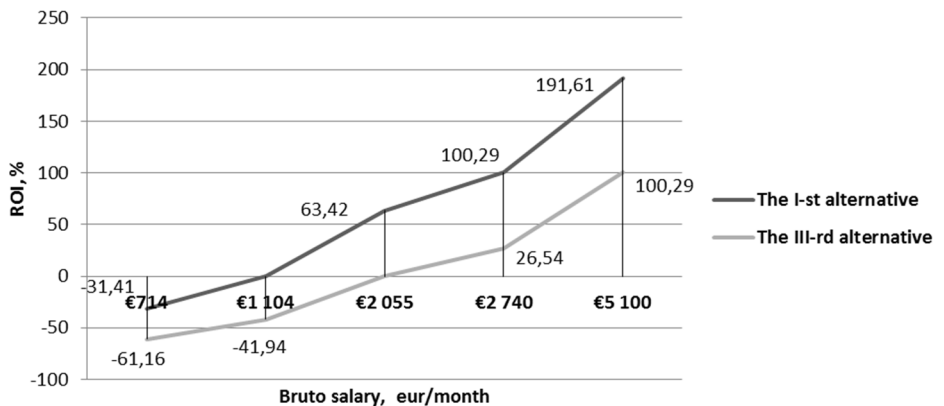


Fig. S2. ROI dependence on monthly labor cost (author created)

The ROI assessments of BIM programs obtained results reflect current construction market drawbacks, when the salary of specialists does not comply within reality. ROI of BIM programmes are not just equal to zero but they are negative. It is revealing that the dependence is not completely linear. Rising up salary of the employee by 1.55 times (714 € → 1104 €) at Ist presented alternative and by 2.88 times (714 € → 2055 €) at the IIIrd alternative, ROI = 0% is obtained. This means no first year ROI but it is likely that in the same situation of company next year ROI will be positive.

For the possibility of the first year ROI = 100% of BIM programmes the salary of the Ist alternative should be 2740 EUR/month and 5100 EUR/month salary for the IIIrd alternative.

General conclusions

After generalizing the results of the dissertation it is possible to state that:

1. The literature analysis has revealed that there is no general system evaluating the efficiency of BIM technologies. The advantages of BIM technologies usually are emphasized analyzing the cycle of building existence even the projection of BIM is used only in some stages; projection, building planning 4D, the analysis of the budget of building 5D or the review of the built building care 5D.

2. The projection experiment 4D and 2D has been created in this work and it has been determined that: the usage of 4D helps to seek higher perfection of the building on the average 7 percentages then using model 2D (when the time limit of building is the same), 12 percentages rare approach to the project information of the building. The four dimension model the possibility of mistakes lower to 40 percentages in the building process. It is determined that the usage of the 4D model helps 7 percentages to shorten the time of the building process on the average and 14 percentages to improve the conception of the building process (in all stages of the building process), on the average 8 percentages to lower time expenditure for the reading of the project draft and 67 percentages to lower time expenditures to fix building mistakes comparing to the usage of the model of two dimensions.
3. After performed the evaluation research of BIM usage in the contruction engineering studies, it has been stated that applying non-formal method students do not acquire knowledges of BIM projection and skills. Specialists are prepared for the future work in the higher schools but the future in the building is related to BIM. The higher schools should pay more attention to the programmes of new studies and the usage of the newest technologies in the study process.
4. After performed the research of building productivity, eveluating 100 the highest skyscrapers and determined that before starting BIM technologies (in 1987) the building process of skyscrapers was faster. The average of building older buildings was 2.7 years whereas the building time using BIM technologies seeks about 4.5 years. The regressive analysis has been done which helps to explain that determination rate is low and it shows the weak dependence (the maximum determination rate – 0.2244, the least – 0.0352 which shows reliable but the weak connection). The dependence among the numbers of the building floors, height, area and the time of the building have been analyzed.
5. After performing the multi-stage evaluation in the company of BIM projection the meaning of every participant acting in the model has been determined. Their role and action have been described practically.
6. In the created method of return on investments colculation (ROI) of BIM technologies investment “*ROI MR*” variables have been determined and described: the cost of software, the wage, the time of instrucion, productivity reduction for trainings, productivity increase after trainings, direct projection work, specificity of companies works.
7. The reading analysis has shown that applying method of “*ROI MR*” counting dividents of the design company, it is possible not only to determine dividents of BIM investments (for the first year), but also it could be evaluated what wages of the workers should be that investments could repurchase special software. Comparing repurchase counting rezults of investments “*Autodesk Revit*” and “*ROI MR*” it has been determined that producers of “*Autodesk Revit*” software present more optimistical results comparing to “*ROI MR*”.

Priedai*

A priedas. Bendraautorių sutikimai teikti publikacijoje kelbtą medžiagą mokslo daktaro disertacijoje

B priedas. Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema kopijos

* Priedai pateikiami pridėtoje kompaktinėje plokštelėje

Marius REIZGEVIČIUS

BIM TECHNOLOGIJŲ EFEKTYVUMO
DAUGIAPAKOPIS VERTINIMAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
statybos inžinerija (02T)

MULTI-STAGE ASSESSMENT OF BIM
TECHNOLOGIES EFFICIENCY

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Civil Engineering (02T)

2016 04 05. 14,5 sp. I. Tiražas 20 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“,
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,
<http://leidykla.vgtu.lt>
Spausdino UAB „Ciklonas“
J. Jasinskio g. 15, 01111 Vilnius